

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения  
Российской академии наук

На правах рукописи

Барабаш Екатерина Олеговна

**ИСТОРИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОРЕОЛОВ ИНДИКАТОРНЫХ  
МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Специальность 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных  
ископаемых, минерагения

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических  
наук

Научный руководитель  
д.г.-м.н. Афанасьев В.П.

Новосибирск – 2021

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. КРАТКИЙ ОБЗОР КОРЕННОЙ И РОССЫПНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ МИРА.....	14
1.1. Основные типы коренных источников алмазов .....	14
1.1.1. Кимберлиты .....	14
1.1.2. Лампроиты .....	18
1.1.3. Импадные алмазы.....	21
1.2. Неизвестные типы источников алмазов из россыпей .....	23
2. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОВЕДЕНИЯ ИМК И ИХ АССОЦИАЦИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЙЯНИЯ .....	31
2.1. Физико-химические изменения ИМК в условиях кор выветривания .....	31
2.2. Механический износ и изменение ассоциации ИМК в процессе транспортировки.....	33
2.3. Литодинамические типы ореолов .....	35
2.4. История развития ореолов ИМК Сибирской платформы.....	38
3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	45
3.1. Методика шлихового опробования.....	45
3.2. Физиографическое изучение ИМК. ....	47
3.2. Онтогенический анализ ИМК. ....	49
3.4. Типоморфный анализ ИМК. ....	49
3.5. Аналитические методы исследования ИМК.....	51
4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЙЯНИЯ .....	52
5. КОМПЛЕКС КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВОЗРАСТА КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ИМК ИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЙЯНИЯ.....	61
6. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВОЗРАСТА КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ИМК ИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЙЯНИЯ.....	66
6.1. Муно-Мархинское междуречье (Центральная часть Сибирской платформы).....	66
6.2. Анабаро-Уджинское междуречье (северо-восток Сибирской платформы). ....	78
6.3. Участки Тарыдак и Мирюга (бассейн р. Подкаменная Тунгуска). ....	93
6.3.1. Тарыдак. ....	93
6.3.2. Мирюга. ....	95
6.4. Чомполинское поле .....	98
6.5. Северная часть Оленекского поднятия. ....	106

6.6. Накынское поле .....	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	122
Список литературы .....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	133
Верхнемунское кимберлитовое поле.....	133
Анабаро-Уджинское междуречье .....	137
Бассейн р. Подкаменная Тунгуска .....	149
Чомполинское поле .....	153
Север Оленекского поднятия .....	155
Накынское поле .....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	159

## ВВЕДЕНИЕ

Активные поиски месторождений алмазов СССР начались в середине XX в. На тот момент уже были известны россыпи алмазов на Урале, найдены первые алмазы в Красноярском крае, чуть позднее появилась информация о находках на Алданском щите.

Начало поисков алмазных месторождений связано с теоретическими прогнозами алмазоносности Сибирской платформы на основе имеющихся находок алмазов и сходства геологического строения Сибирской платформы с Южной Африкой. Разработкой этих прогнозов наиболее активно занимались Н.М. Федоровский, В.С. Соболев и А.П. Буров. Однако на начальном этапе четкого представления о алмазодержащих породах не было. Хотя в Южной Африке находки алмазов были связаны с кимберлитами, на Сибирской платформе предполагалась продуктивность ультраосновных и щелочных пород, а также связь алмазов с кимберлитами и траппами. В связи с этим поиски велись непосредственно по находкам алмазов, что требовало огромных объемов опробования, а количество найденных алмазов не превышало первых сотен. Соотношение огромных трудозатрат и ничтожно малого выхода полезного компонента делало поиски крайне нерентабельными в промышленном плане, однако с точки зрения науки это был огромный шаг, доказывающий алмазоносность Сибирской платформы.

В 1953-1954 гг. А.А. Кухаренко, на основании коллекции пиропов из Африки, смог идентифицировать красные минералы, встречающиеся в большом количестве в шлиховых пробах с рек Муна, Алакит, Далдын как пиропы и установить их связь с кимберлитами [Кухаренко, 1961]. На роль пиропов как индикаторов кимберлитов ранее указывал В.С. Соболев [Соболев, 1951]. А.А. Кухаренко и Н.Н. Сарсадских сформулировали основные положения метода “пироповой съемки”, применяя которую Л.А. Попугаева в августе 1954 г. открыла первую алмазоносную кимберлитовую трубку “Зарница”. Тогда же появилось понятие “минералы-спутники алмаза”, под которыми подразумевались минералы, сопутствующие алмазу в кимберлитах и сохраняющиеся в механических ореолах рассеяния [Афанасьев, 2010].

Методика поиска алмазных месторождений по минералам-спутникам стала огромным прорывом в поисковой минералогии алмаза. С ее помощью удалось сократить объемы опробования, что позволило значительно расширить исследуемую территорию. По минералам-спутникам были найдены первые промышленные месторождения в Западной Якутии – трубки Мир, Удачная, Айхал, Сытыканская и множество кимберлитовых трубок с непромышленными содержаниями алмазов.

В пятидесятых – начале семидесятых годов основой поиска было представление об исключительно потоковом распределении индикаторных минералов кимберлитов. Поэтому часто «дорожка» приводила на водораздел, а не к кимберлитовому телу [Афанасьев, Зинчук, 1996]. Это значительно снизило эффективность поисковых работ.

Далее под пристальное внимание геологов попала степень механического износа минералов, которую связывали непосредственно с удаленностью от коренного источника [Харькив, 1978].

При изучении пиропов из аллювиальных отложений было отмечено наличие следов гипергенной коррозии, которую после продолжительных дискуссий связали с корообразованием [Харькив, Вологовский, 1968].

В 70е годы, несмотря на активные поисковые работы, количество кимберлитовых трубок, открытых по минералогическим методам, значительно снизилось, зато все больше кимберлитов находили при помощи геофизики.

Следующим скачком минералогических методов стало осознание переотложенного характера ореолов (семидесятые годы). Была выявлена закономерная связь между степенью механического износа и фациальными обстановками: от слабого износа в аллювиальных обстановках, до предельного – в прибрежно-морских. Переотложение стало ключом к объяснению нахождения индикаторных минералов с разной степенью механического износа и разной степенью коррозии в одном ореоле, а также площадному характеру ореолов.

Понимание процессов переотложения в сочетании с изучением типоморфизма индикаторных минералов заставило изучать ореолы в связи с историей геологического развития территории. История развития ореолов, восстановленная по типоморфизму индикаторных минералов кимберлитов, позволяет восстановить сведения о «немых» периодах геологической истории, для которых не сохранилось геологических тел, однако их существование надежно обосновывается по типоморфным особенностям индикаторных минералов.

Учет процессов переотложения помогает восстановить историю развития ореолов, но уничтожает линейную связь между индикаторными минералами и коренным источником, приводя к расползанию минералов по площади. В связи с этим поиски исключительно минералогическими методами во многих случаях не являются самодостаточными, но остаются приоритетными и являются единственными, опирающимися на прямые поисковые признаки.

С начала 70-х годов начинается широкое внедрение микрорентгеноспектрального анализа (микрозонда), который резко повысил эффективность изучения индикаторных минералов. Основной вклад в эти исследования внесли Н.В. Соболев и его школа. Ключевым моментом стала

разработка Н.В. Соболевым минералогических критериев алмазности неизвестных кимберлитовых тел по составу индикаторных минералов из ореолов, позволяющая оценить потенциальную продуктивность искомым коренных источников [Sobolev et al., 1973].

В конце 70-х - 80-е годы были обобщены данные по физико-химическим изменениям индикаторных минералов и их ассоциаций в коре выветривания. Установлено, что коррозия на индикаторных минералах проявляется только в условиях среднепалеозойской коры выветривания, преимущественно в верхней ее части соответствующей зоне гидролиза. Согласно геологическим данным гипергенные изменения индикаторных минералов связаны только со среднепалеозойской корой выветривания [Шамшина, 1979, Харьков, Вологовский, 1968], что позволяет использовать ее как хронологический репер, разделяющий историю минералов на «до и после корообразования» [Афанасьев и др., 1980]. Продолжаются активные исследования механической устойчивости индикаторных минералов в различных условиях. Проводятся эксперименты, позволяющие оценить миграционные свойства индикаторных минералов на основании их гидравлической крупности [Афанасьев, Бабенко, 1988]. На основе накопленных знаний об условиях формирования и развития ореолов сформулировано понятие «тип шлихоминералогической поисковой обстановки» как общее представление об условиях ведения минералогических поисков, их возможностях и ограничениях [Афанасьев, 1989].

В 90-е годы происходила доработка основных аспектов минералогических поисков алмазных месторождений, что позволило к концу десятилетия сформулировать схему, объединяющую весь накопленный опыт (рис. 1). Эта схема построена от частного к общему, при этом каждый вышележащий блок включает предыдущий и является более высоким уровнем обобщения [Афанасьев и др., 2010].

Однако эта структура не включает методы оценки возраста коренных источников по индикаторным минералам из ореолов рассеяния. Практика поисковых работ заставила искать критерии оценки возраста искомым коренных источников по индикаторным минералам из россыпи. Это связано с тем, что объектом поиска должны быть заведомо алмазные тела, подавляющее большинство которых имеет среднепалеозойский возраст, в то время как триасовые кимберлиты убогалмазные, а юрские - неалмазные. Следовательно, на стадии поисковых работ необходимо оценить возраст коренных источников, с которыми мы имеем дело.

Поэтому основной темой данной работы является формулировка комплекса минералогических признаков оценки возраста коренных источников, а также расшифровка возраста, условий и истории формирования ореолов индикаторных минералов кимберлитов различных регионов Сибирской платформы. В большинстве этих районов автор принимал

непосредственное участие в полевых работах, по остальным районам использованы материалы лаборатории 451.

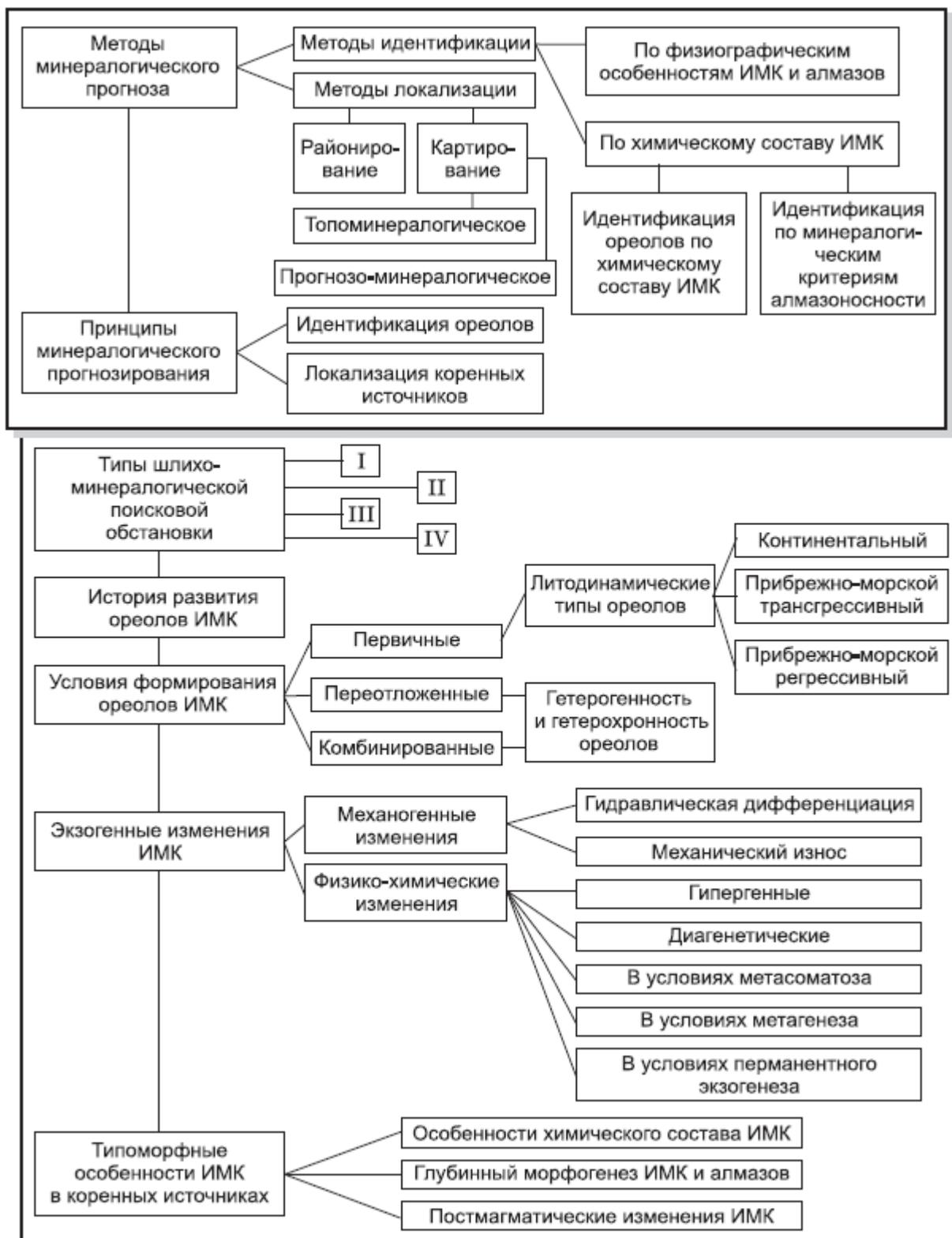


Рис. 1. Структура поисковой минералогии алмаза [Афанасьев и др., 2010].

### **Актуальность**

На Сибирской платформе известны три эпохи кимберлитового магматизма – среднепалеозойская, нижнетриасовая и юрско-меловая. Кимберлиты с промышленными уровнями алмазоносности в пределах Сибирской платформы связаны только со среднепалеозойской эпохой, хотя в ряде кимберлитовых полей этого возраста резко преобладают тела с низкими и убогими содержаниями алмазов. Триасовая эпоха алмазоносна, но уровень алмазоносности известных кимберлитовых тел в целом значительно ниже, чем среднепалеозойской, а в большинстве известных триасовых кимберлитов алмазы вообще не установлены. Юрско-меловые кимберлиты практически не алмазоносны, и среди многих сотен известных тел лишь для единичных трубок этого возраста установлены убогие содержания алмазов.

Большинство известных полей среднепалеозойских кимберлитовых тел локализовано в центральной части Сибирской платформы, тогда как мезозойские кимберлиты тяготеют к ее окраинам. На окраинах платформы имеются находки и среднепалеозойских кимберлитов, в частности в ее северо-восточной части в районе Кютюнгинского грабена (Толуопское поле), где пространственно совмещены кимберлиты всех трех эпох.

Поскольку для Сибирской платформы наблюдается зависимость продуктивности кимберлитовых тел от возраста их формирования, то именно возраст коренных источников является основой для прогнозирования и организации поисковых работ на алмазы. Поэтому выделение комплекса признаков, основанных на онтогенических особенностях индикаторных минералов кимберлитов (далее ИМК) является крайне актуальным для повышения эффективности прогнозирования и поисков коренных месторождений алмаза. Это комплекс критериев позволяет оценить возраст прогнозируемых кимберлитов на перспективных площадях и на данной основе определять тактику поиска кимберлитов, что имеет важнейшее практическое значение.

### **Цель и задачи работы**

Цель: выявить комплекс минералогических критериев оценки возраста коренных источников по индикаторным минералам кимберлитов из ореолов рассеяния и выделить районы, перспективные с точки зрения коренной алмазоносности на Сибирской платформе.

**Задачи:**

1. Изучить типоморфизм индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) из ореолов рассеяния различных алмазоносных районов Сибирской платформы, включая: а) морфологию зерен, отражающую эволюцию ИМК в сфере седиментогенеза; б) особенности химического состава, позволяющие идентифицировать коренные источники и дать оценку их алмазоносности;
2. Изучить закономерности поведения ИМК в условиях современного аллювиального переноса;
3. Восстановить историю и условия развития ореолов ИМК с помощью типоморфного и онтогенического анализа.
4. Обосновать наиболее перспективные площади с точки зрения коренной алмазоносности.

**Фактический материал и личный вклад автора.**

Материалом для исследования послужили шлиховые пробы из следующих районов Сибирской платформы: Муно-Мархинское междуречье, Анабаро-Уджинское междуречье (бассейны рек Биллях, Уджа, Маят), участки Тарыдак и Мирюга (бассейн реки Подкаменная Тунгуска), Чомполинское поле (верховья реки Амга), северная часть Оленекского поднятия (бассейны рек Никабыт, Хорбусуонка, Келимяр), минералы которых изучены морфологически, определен их химический состав. Используются также химические составы гранатов из различных районов Сибирской платформы из базы данных Лаборатории литосферной мантии и алмазных месторождений (лаб. 451) ИГМ СО РАН за многолетний период (более 15 000 анализов).

Автор принимал непосредственное участие в специальном маршруте по р. Муна со шлихоминералогическим опробованием с целью определения дальности транспортировки ИМК в аллювиальных условиях в ореоле рассеяния прямого сноса, а также в отборе шлиховых проб в следующих районах: Муно-Мархинское междуречье (2010 г.), бассейн реки Подкаменная Тунгуска (2011 г.), северная часть Оленекского поднятия (2013 г.), Анабаро-Уджинское междуречье (2018 г.).

Работа основана на полученных автором данных по морфологическим особенностям ИМК и соотношению ИМК с разной степенью механического износа (более 600 проб). Для представительных выборок ИМК из разных участков проведено детальное изучение микрорельефа на сканирующем электронном микроскопе (более 5000 фотографий) и выполнена

систематизация зерен по этому параметру. Часть химических анализов гранатов (576 анализов) получены лично автором.

#### **Методы исследования.**

1. С помощью бинокулярного микроскопа (Микромед МС3 Zoom) изучен габитус кристаллов, степень механического износа, наличие гипергенных изменений и хронологические взаимоотношений разного рода скульптур.

2. Сканирующая электронная микроскопия (JEOL 6380 LA, TESCAN MIRA 3 LMU) применялась с целью изучения микрорельефа наиболее информативных зерен ИМК и документации представительных выборок гранатов из различных районов.

3. Онтогенический и типоморфный анализы, основанные на изучении и интерпретации форм экзогенных изменений на ИМК из ореолов. Онтогенический (по Д.П. Григорьеву [1961]) анализ направлен на восстановление истории развития минеральных индивидов и минеральных ассоциаций, а типоморфный - на реконструкцию геологических условий, ответственных за проявление тех или иных типоморфных особенностей минералов и их ассоциаций на каждом этапе онтогенеза). Сочетание этих двух методов позволяет реконструировать историю формирования ореолов ИМК и фациальные обстановки на каждом этапе онтогенеза, а также обосновать возраст коренных источников на основании типоморфных особенностей ИМК.

4. Микрорентгеноспектральный анализ (JEOL JXA 8100) применялся для изучения химического состава представительных выборок пиропов.

#### **Научная новизна и практическая значимость.**

1. По результатам изучения природного объекта (Верхнемунского кимберлитового поля) доказана дальность транспортировки ИМК в аллювиальных условиях в ореоле прямого сноса, превышающая 150 км. При транспортировке на это расстояние на зернах появляются признаки механического износа только слабой степени. Для получения представительного количества ИМК необходимо экспоненциально увеличивать объем проб по мере удаления от коренного источника.

2. Разработан комплекс минералогических критериев, позволяющих оценить возраст коренных источников по их ИМК в современных и древних ореолах рассеяния.

3. С использованием комплекса минералогических критериев обоснован возраст коренных источников в ряде районов Сибирской платформы. Выявлены наиболее перспективные

с точки зрения коренной алмазности территории, связанные с среднепалеозойским кимберлитовым магматизмом.

### **Основные защищаемые положения**

1. Дальность транспортировки ИМК в аллювиальном ореоле прямого сноса (Верхнемунское кимберлитовое поле) достигает первых сотен километров в зависимости от степени расчлененности рельефа, с падением концентрации ИМК по экспоненциальному закону, при слабом механическом износе ИМК.

2. Комплекс критериев для оценки возраста коренных источников ИМК Сибирской платформы включает состав гранатов, степень их механического износа и гипергенной коррозии. Гипергенная коррозия и повышенный механический износ ИМК, наряду с широкими вариациями состава гранатов и наличием гранатов алмазной ассоциации свидетельствуют о среднепалеозойском возрасте коренных источников; ИМК из триасовых и юрско-меловых коренных источников лишены признаков гипергенной коррозии, слабо окатаны и характеризуются сокращением парагенетического разнообразия, сужением интервала по хромистости и отсутствием или очень низким содержанием гранатов алмазной ассоциации.

3. На Анабаро-Уджинском междуречье, участках Тарыдак и Мирюга в бассейне р. Подкаменная Тунгуска представлены ИМК типичные для среднепалеозойских коренных источников, а на севере Оленекского поднятия и в Чомполинском поле – для триасовых. Наиболее перспективной на обнаружение среднепалеозойских алмазносных кимберлитов является Анабаро-Уджинская площадь.

### **Апробация работы.**

По теме диссертации опубликовано 13 работ в том числе 5 в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Результаты работы были доложены и опубликованы в материалах и тезисах Международных и Всероссийских научных конференций: XX Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2016, 2018), Goldschmidt 2017 (Париж, 2017), Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции (Якутск, 2018, 2019), 7th International Scientific Conference of young scientists and students on "Information technologies in solving modern problems of geology and geophysics" (Баку, 2018).

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения. Общий объем работы 160 страниц, включая 63 рисунка, 2 таблицы, список литературы, содержащий 113 наименований, 2 приложения.

В первой главе представлен краткий обзор коренной и россыпной алмазности Сибирской платформы и других регионов мира. Описаны основные типоморфные особенности алмазов из россыпей и разных типов коренных источников. Дана краткая характеристика наиболее распространенных алмазосодержащих пород. Рассмотрены литературные данные о потенциальных источниках россыпных алмазов.

Во второй главе на основе литературных данных рассмотрены основные закономерности поведения ИМК и их ассоциаций при формировании механических ореолов рассеяния. Описаны различные гипотезы и теоретические модели, касающиеся транспортировки ИМК в аллювиальных условиях. Изложены причины и условия возникновения тех или иных типоморфных особенностей ИМК. Приведена история формирования ореолов ИМК Сибирской платформы. Эти данные являются необходимой теоретической базой для интерпретации данных, изложенных в диссертации.

Третья глава посвящена методам исследования, используемым в работе. Подробно описаны особенности шлихового опробования при изучении дальности транспортировки, изложена методика обработки шлиховых проб и систематизации данных по морфологии ИМК. Коротко изложены основы онтогенического и типоморфного анализов ИМК, используемых для реконструкции истории и условий формирования ореолов.

В четвертой главе на примере современного потока рассеяния от Верхнемунского кимберлитового поля обосновывается экспоненциальное падение концентрации ИМК по мере удаления от источника. Приводятся критерии выбора эталонного объекта и обозначается область применимости метода. Формулируется первое защищаемое положение.

В пятой главе описан комплекс критериев оценки возраста коренных источников по ИМК из шлиховых ореолов. Сформулировано второе защищаемое положение.

Шестая глава посвящена примерам применения комплекса критериев для обоснования возраста коренных источников по ИМК из ореолов рассеяния. Оценен возраст коренных источников в шести потенциально алмазносных районах. Выделены наиболее перспективные площади. Сформулировано третье защищаемое положение.

В заключении суммированы результаты работы.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Диссертация соответствует разделу 4 (Прогнозирование, поиски, разведка и геолого-экономическая оценка месторождений) паспорта научной специальности 1.6.10 - «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»

**Благодарности.**

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю д.г.-м.н. В.П. Афанасьеву за помощь, внимание и поддержку в процессе подготовки диссертации. Академику РАН д.г.-м.н. Н.П. Похиленко автор благодарен за консультации и поддержку. За ценные замечания при подготовке публикаций автор благодарен академику РАН Н.В. Соболеву. За бесценный опыт полевых работ автор благодарит к.г.-м.н. М.А. Вавилова, к.г.-м.н. И.С. Бажана, к.г.-м.н. Н.С. Тычкова. За ценные замечания и конструктивную критику признателен д.г.-м.н. А.С. Борисенко, д.г.-м.н. Ю.А. Калинин, д.г.-м.н. О.М. Туркиной, д.г.-м.н. А.Г. Дорошкевич. Также автор выражает благодарность ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск), где проводились аналитические исследования и лично к.г.-м.н. Н.С. Карманову, к.г.-м.н. А.Т. Титову, к.г.-м.н. В.Н. Королюку, М.В. Хлестову. Автор признателен за неоценимую помощь и всестороннюю поддержку со стороны к.г.-м.н. Д.А. Самданова, к.г.-м.н. А.М. Логвиновой, к.г.-м.н. Е.В. Агашевой, Е.И. Николенко, к.г.-м.н. В.С. Цибульчик, Л.В. Черемных, О.А. Ивановой, Л.Н. Баранова, О.В. Ильиной.

Работа выполнена в Лаборатории литосферной мантии и алмазных месторождений (лаб. 451) ИГМ СО РАН при частичной финансовой поддержке в рамках гранта Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2020-781 от 02 октября 2020 года.

## 1. КРАТКИЙ ОБЗОР КОРЕННОЙ И РОССЫПНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ МИРА

На сегодняшний день на планете известно большое количество коренных источников алмазов разного возраста, от архея до миоцена.

### **1.1. Основные типы коренных источников алмазов**

#### ***1.1.1. Кимберлиты***

Кимберлиты фанерозойского возраста среди изверженных пород Сибирской платформы на сегодняшний день являются основными носителями промышленных содержаний алмазов, потому их изучению уделяется огромное внимание.

Большинство исследователей кимберлитов рассматривают их как продукты кристаллизации специфической кимберлитовой магмы, но единого представления о характере этой магмы и ее генезисе нет. Отсутствует единство в определении и самого понятия кимберлит, так как различные исследователи даже первичный минеральный состав этих пород понимают и трактуют по-разному.

Одно из первых определений термина «кимберлит» в отечественной литературе принадлежит В.С. Соболеву [Соболев, 1962]: «Кимберлит как магматическая порода... относится к ультраосновному типу, варьируя по составу от пород, почти совершенно не содержащих глинозема и щелочей, до пород с заметным содержанием  $Al_2O_3$  и щелочей, особенно  $K_2O$ , в слюдистых кимберлитах. Главным минералом всегда является оливин с содержанием до 10 %  $Fe_2SiO_4$ , присутствующий по крайней мере в двух генерациях: в крупных, нередко оплавленных кристаллах, и мелких идиоморфных кристаллах, имеющих характер микропорфировых вкрапленников. Флогопит, также несомненно магматический, — в идиоморфных табличках; количество его колеблется в широких пределах. В основной стекловатой массе (всегда разложенной) иногда видны псевдоморфозы по микролитам пироксена, а в северных районах, главным образом в дайках, впервые для кимберлитов установлен мелкозернистый монтичеллит и предполагается присутствие нефелина. К первой генерации порфировых минералов, вероятно, относятся пироп, пикроильменит и хромшпинель. Поздним аксессуарным минералом является перовскит».

По форме кимберлитовые тела могут быть представлены трубчатыми телами (трубки взрыва), дайками, силлами, штокверками.

Наиболее распространенной формой кимберлитовых тел является трубка взрыва. Ее модель показана на рис 1.1.

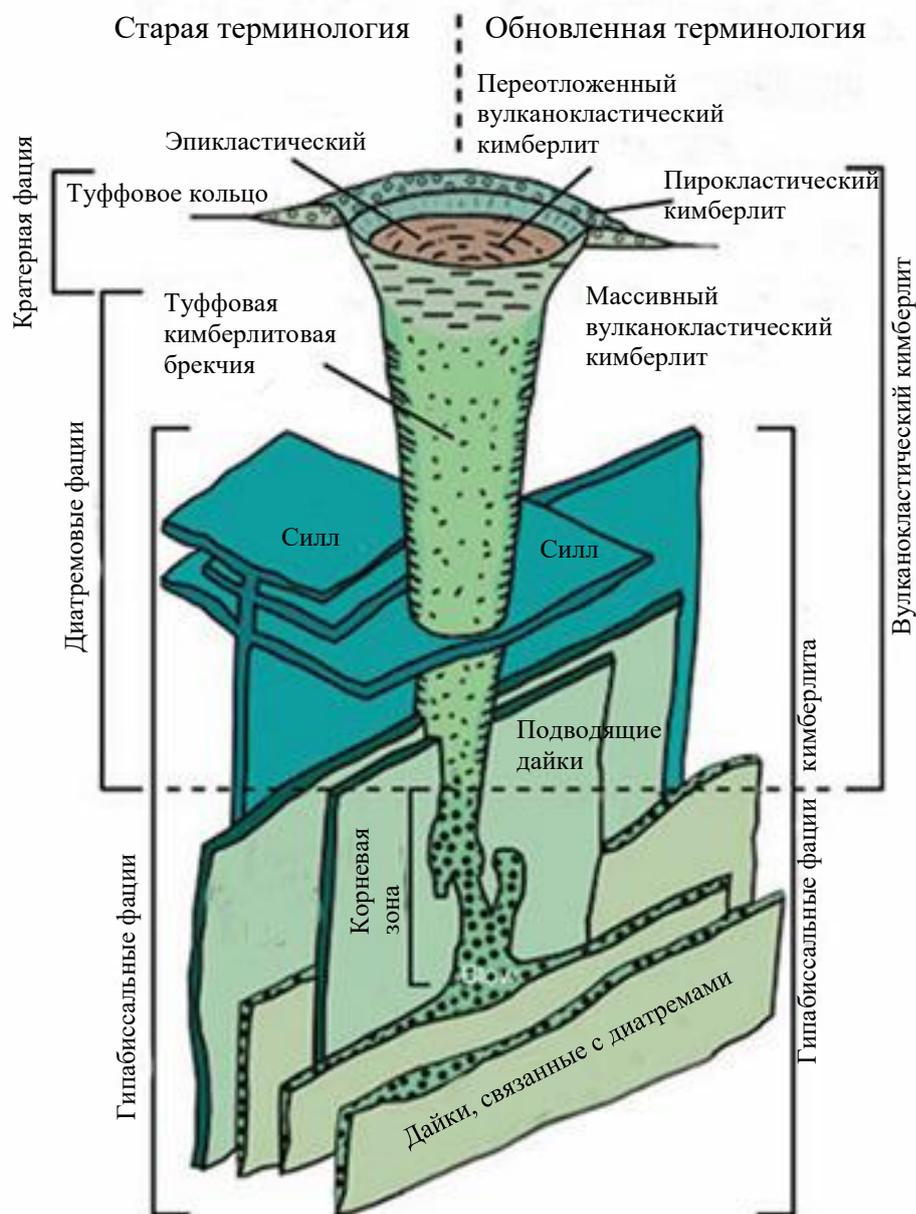


Рис. 1.1 – Обобщенная модель кимберлитовой трубки и подводящих даек (по [Kjarsgaard, 2007], перевод автора).

В разрезе трубка имеет коническую форму, а на глубине переходит в дайку, являющуюся подводящим каналом. Коническая форма обусловлена тем, что флюидонасыщенная кимберлитовая магма при продвижении вверх и падении давления интенсивно выделяет флюид, что обуславливает взрывной процесс формирования диатремы. Выброшенный материал формирует туффовое кольцо, в кратере образуется озеро. Благодаря взрывному процессу формирования трубка насыщена обломками (ксенолитами) вмещающих пород и более тонким

терригенным материалом. Подводящий канал (дайка) слагается интрузивным кимберлитом практически без ксенолитов вмещающих пород. В плане кимберлитовая трубка имеет форму от изометричной до сильно удлинённой дайкообразной, иногда неправильную форму [Доусон, 1983].

Полный разрез кимберлитовых трубок сохраняется очень редко. Он характерен для отмеченных на модели трубок Орапа (Ботсвана) и Мвадуи (Танзания); на Сибирской платформе отложения кратерного озера сохранились на трубке Краснопресненская в Алакит-Мархинском поле, а также в трубках Юбилейная, Айхал. В большинстве случаев кимберлитовые тела в той или иной мере эродированы, причем уровень эрозии в зависимости от возраста трубок и истории геологического развития района сильно различается. В поисковом плане это выражается в том, что по мере срезания тела конической формы его поперечник на уровне эрозионного среза уменьшается, соответственно растут трудности его обнаружения, а возможно и целесообразность поиска, если значительная величина эрозионного среза будет доказана. Кроме того, от величины эрозионного среза напрямую зависит продуктивность ореола индикаторных минералов, количество алмазов, а также масштабы ореолов индикаторных минералов, что напрямую влияет на условия ведения поиска.

Во многих случаях кимберлитовые тела формируются в два-три этапа, разделенные во времени, при этом обломки кимберлита ранних фаз внедрения попадают в более поздние в форме автолитов.

В целом для Сибирской платформы известны кимберлиты трех возрастных уровней: среднепалеозойский, триасовый, юрско-меловой.

Среднепалеозойские кимберлиты найдены главным образом в центральной части Якутской провинции; к ним относятся промышленные кимберлиты Мирнинского, Алакит-Мархинского, Далдынского, Верхнемунского Накынского полей, а также ряд полей севернее. Однако по геологической позиции и типоморфизму ореолов индикаторных минералов среднепалеозойские кимберлиты развиты также по северо-востоку Сибирской платформы, по югу (Иркутская область) и по западу (Красноярский край). По большинству определений изотопного возраста формирование среднепалеозойских кимберлитов приходится на фаменский век позднего девона [Agashev et al., 2001, Агашев и др., 2004, Левченков и др., 2005].

Необходимо отметить, что граница франа-фамена является важным рубежом в глобальной геологической истории, с которым связана резкая активизация рифтогенеза, массовое вымирание биоты, быстрая трансгрессия моря, сменившаяся быстрой регрессией. Предполагается, что эти события были обусловлены глобальной активизацией плюмовой деятельности [Веймарн,

Корнеева 2007, Гайдук, 1988]. Наиболее вероятно, что формирование среднепалеозойских кимберлитов приурочено к этому событию.

Для практики важно то, что среднепалеозойская эпоха кимберлитового магматизма была на Сибирской платформе наиболее продуктивной в отношении алмазности. Все промышленные месторождения связаны со среднепалеозойскими кимберлитами.

Триасовые кимберлиты известны в северной части платформы. Единичные из них, например, трубка Мало-Куонапская, содержат непромышленные концентрации алмазов, большинство же неалмазны. Найденные трубки группируются главным образом в полосу вдоль восточного борта Анабарского щита.

Из юрско-меловых кимберлитов алмазы в непромышленной концентрации известны только в трубке Дьянга [Sobolev et al., 1999], остальные трубки неалмазны. Мезозойские кимберлиты тяготеют главным образом к периферии платформы.

Практическое отсутствие алмазов в мезозойских кимберлитах связано наиболее вероятно с воздействием на основание литосферы Сибирского суперплюма, который преобразовал, метасоматизировал основание литосферы, обусловив сокращение ее мощности, и «выжег» алмазы, из-за чего кимберлиты мезозоя и менее глубинные, и неалмазные [Pokhilenko et al., 1999, 2015].

Всего на Сибирской платформе на сегодняшний день известно более тысячи кимберлитовых тел, из них только около полутора сотен среднепалеозойские, в том числе все промышленные месторождения, остальные мезозойские непродуктивные. Поэтому имеет смысл искать именно среднепалеозойские кимберлиты.

Помимо алмаза, кимберлиты содержат еще ряд глубинных (мантийных) минералов – оливин, пироп, пикроильменит, хромит, пироксены, циркон, апатит, флогопит и некоторые другие менее распространенные. Для поисков основное значение имеют пироп, пикроильменит, хромит, реже оливин, если он не полностью серпентинизован в кимберлитовом теле. Эти минералы образуют шлиховые ореолы, по которым ведется поиск кимберлитов минералогическим методом. Индикаторные минералы кимберлитов в полной мере отражают характер литосферной мантии в районах развития кимберлитов на момент их внедрения. Так, в среднепалеозойских кимберлитах систематически встречаются минералы – парагенетические спутники алмаза, по которым можно прогнозировать потенциальную алмазность кимберлитов, если они будут обнаружены в ореолах [Sobolev et al., 1973]. Такие минералы практически отсутствуют в мезозойских кимберлитах, зато их минералы показывают признаки мощного глубинного метасоматоза, о котором упоминалось выше [Pokhilenko et al., 1999, 2015].

Таким образом, кимберлиты являются основным объектом прогнозирования и поиска как основного источника алмазов. При этом основное внимание должно уделяться среднепалеозойским кимберлитам, так как мезозойские практически неалмазоносны. Пространственная локализация разновозрастных кимберлитов, их минералогический состав и петрологические особенности существенно различаются, что позволяет по комплексу поисковых предпосылок и признаков прогнозировать характер кимберлитов.

### *1.1.2. Лампроиты*

Лампроиты - это богатая калием и магнием лампрофировая порода вулканического или гипабиссального происхождения, принадлежащая классу ультракалиевых пород. Минералы, обычно присутствующие в качестве главных составляющих, представлены одним или несколькими из следующих: оливин, клинопироксен (обычно диопсид), флогопит (обычно титансодержащий), лейцит, амфибол (обычно калиевый рихтерит), ортопироксен, санидин и стекло. Акцессорная фаза может включать прайдерит, апатит, нефелин, шпинель, перовскит, вэйдит, ильменит. Возможно присутствие также ксенолитов и ксенокристов (включая оливин, пироксен, гранат, шпинель) верхнемантийного происхождения, а также алмаза в качестве редкого аксессуара. Лампроит может иметь основной или ультраосновной состав и характеризуется высоким отношением  $K_2O/Na_2O > 3$  и большими содержаниями Rb, Sr, Ba, Ti, Zn, Nb, Pb, Th, U и легких элементов группы редких земель [Jaques et al., 1984]. Форма тел лампроитов может быть самой разнообразной, наиболее обычны дайки, лавовые потоки, диатремы. Значительный, в том числе экономический интерес к лампроитовым породам появился после открытия в Западной Австралии алмазоносной трубки Аргайл в 1979 году. Это открытие инициировало интенсивное изучение известных и поиски новых проявлений лампроитов по всему миру. Промышленными месторождениями до сих пор являются только лампроиты Западной Австралии, хотя породы алмазоносной трубки Маджгаван (Индия), вполне можно классифицировать как лампроиты. Незначительные содержания алмазов зафиксированы в лампроитах Мерфрисборо (США), Гренландии. Подавляющее большинство лампроитов не содержит алмазов [Метелкина и др., 1976].

В начале 60-х годов прошлого столетия при проведении поисковых работ на алмазы в Иркутской области (юго-западная часть Сибирской платформы) были обнаружены жильные тела оливин-флогопитовых пород, диагностированных как слюдяные кимберлиты. Анализ геолого-структурной позиции данных пород (расположение в зоне интракратонного мобильного пояса), минералогии, петро- геохимических особенностей этих пород дали основание А.П.Секерину с

соавторами [Секерин и др., 1993, 1995] отнести их не к кимберлитам, а к породам лампроитовой серии.

В настоящее время в Присаянье известно девять жильных тел подобного состава, формирующих Ингашинское поле (бассейн реки Ингаши, левый приток реки Ока). Жилы прорывают и фенитизируют метаморфизованные в зеленосланцевой фации песчано-сланцевые отложения урикской и ингашинской свит раннего протерозоя и являются кососекущими по отношению к структурам вмещающих пород. Прослеженная длина жил достигает 850 м при мощности от первых сантиметров до 1 м. Возраст этих пород, определенный рубидий-стронциевым изохронным методом, составляет  $1268 \pm 12$  млн. лет; близкие цифры (1100-1200 млн. лет) получены калий-аргоновым методом (С.Б.Брандт, ИЗК, Иркутск) [Секерин и др., 1989]. По данным [Секерин и др., 1989; Секерин и др., 1993] среди рудных минералов данных пород преобладают хромшпинелиды. Исследования состава и морфологии нескольких кристаллов показали, что хромшпинелиды являются типичными «мантийными», аналогичными хромшпинелидам из кимберлитов и лампроитов [Афанасьев и др., 2000]. Большинство гранатов ингашинских пород составляют альмандин-пиропы, характерные для эклогитов (75% от общего количества). Около 25% относится к хромистым пиропам лерцолитового парагенезиса; гранатов алмазного парагенезиса [Sobolev et al., 1973] не обнаружено. Отсутствуют пикроильмениты, соответствующие кимберлитовым; проанализированные ильмениты содержат повышенное количество марганца (до 4 вес. % MnO). Породы содержат также оливины, клино- и ортопироксены. При обогащении пород найдено девять алмазов ромбододекаэдрического габитуса весом 1-9 мг [Аргунов и др., 1990].

Наличие алмазоносных кимберлитов/лампроитов рифейского возраста, содержащих алмазы ромбододекаэдрического габитуса, характерные для докембрийских источников, является прямым свидетельством существования докембрийской эпохи алмазоносности на Сибирской платформе.

В отличие от кимберлитов, которые локализируются в пределах древних архейских блоков, проявления лампроитов тяготеют к границам кратонов и межкратонным орогенным поясам. Возраст лампроитов широко варьирует: от протерозоя (Западная Австралия, Индия) до неогена (Испания), где лампроитовый магматизм связан с современной субдукцией.

Главным индикаторным минералом алмазоносных лампроитов является магнезиальный хромит и редко пироповый гранат.

На данный момент на Сибирской платформе известны лишь единичные убогоалмазоносные докембрийские лампроиты, однако в мире известны лампроиты, содержащие промышленные концентрации алмазов.

На северо-востоке Канады обнаружены алмазоносные лампрофиры [Macrae et al., 1995]. Возраст пород составляет  $1832 \pm 28$  млн. лет. Породы содержат огромное количество микроалмазов октаэдрического, тетрагексаэдрического, кубического габитуса; имеются двойники, агрегаты, обломки. Лишь два кристалла из тысячи имеют размер более 0,5 мм, размер большинства алмазов менее 0,075 мм. В незначительном количестве присутствуют хромистые гранаты лерцолитового парагенезиса (G9), высокохромистые высокомагнезиальные шпинелиды, оливины форстеритового состава.

В докембрийской лампроитовой трубке Аргайл (Западная Австралия), имеющей возраст 1150 млн. лет [Jaques et al., 1986; Pigeon et al., 1988,] также резко доминируют алмазы эклогитового типа парагенезиса (93% по данным [Соболев и др., 1989]); этому соответствует облегченный изотопный состав углерода алмазов (среднее  $\delta^{13}\text{C}$  по 35 анализам составляет -11,7‰ при диапазоне колебаний от -7,63 до -18,68‰ [Соболев и др., 1989]). Алмазы преимущественно низкого качества, переполненные включениями, трещиноватые, на поверхности изобилуют каверны каталитического окисления, шрамы и каналы травления. Округлые додекаэдровиды не характерны.

Иной комплекс алмазов содержится в протерозойской лампроитовой трубке Маджгаван (Индия, штат Мадхья-Прадеш, округ Панна), возраст которой составляет  $1067 \pm 31$  млн. лет [Kumar et al., 1993]. В этой трубке преобладают округлые додекаэдровиды, часто с полосами пластической деформации и шагреневым рельефом [Соболев и др., 1993]. В то же время все изученные алмазы с включениями относятся к ультраосновному типу парагенезисов и имеют тяжелый изотопный состав углерода в диапазоне  $\delta^{13}\text{C}$  от -3,66 до -7,22‰ с максимумом от -5 до -6‰ (данные по 55 кристаллам [Соболев и др., 1993]).

Хотя лампроитовая трубка Аргайл является одним из крупнейших в мире месторождением алмазов, доля лампроитов в общем балансе промышленной алмазоносности невелика. Однако необходимо отметить, что алмазоносные лампроиты характерны для протерозоя и мало характерны для фанерозоя, в котором ведущая роль принадлежит кимберлитам. Возможно, что большое количество протерозойских лампроитовых тел еще не найдено в связи с трудностями поиска древних диатрем. В частности, на большей части Сибирской платформы они погребены под мощным чехлом фанерозойских осадков. Об этом свидетельствует специфика алмазов в россыпях, потенциально связанных с докембрийскими

источниками, а именно широкое распространение не типичных для кимберлитов скрытоламинарных додекаэдридов, коренные источники которых пока не найдены и которыми, по аналогии, например, с лампроитовой трубкой Маджгаван (Индия), могут быть протерозойские лампроиты.

Таким образом, лампроиты имеются на Сибирской платформе, и наиболее вероятно принадлежат докембрийской эпохе алмазоносности. Поэтому поиск их крайне затруднителен на большей части Сибирской платформы и из-за этого они не представляют интерес с точки зрения коренной алмазоносности. Однако вполне вероятно, что с протерозоя лампроиты внесли значительный вклад в россыпную алмазоносность, следовательно, ценность лампроитов выражается через россыпную алмазоносность.

### ***1.1.3. Импадные алмазы***

В последнее время огромное внимание уделяется импактным породам, в первую очередь алмазоносным, как Попигайская астроблема.

Подавляющее большинство высокоскоростных столкновений достаточно больших небесных объектов метеоритного или кометного типа с планетами приводит к образованию импактных кратеров на их поверхности. В настоящее время на Земле известно более 150 таких кратеров различного размера, начиная от ~100 м до более чем 200 км в диаметре (астроблема Чикскулуб на полуострове Юкатан в Мексике, имеющая возраст ~65 млн лет и считающаяся причиной грандиозного вымирания организмов на рубеже мелового и палеогенового периодов). Попигайская астроблема диаметром 100 км, расположенная у полуострова Таймыр - другой крупнейший импактный кратер с возрастом 35,7 млн. лет, который, вероятно, является причиной ещё одного большого вымирания организмов, задокументированного палеонтологией в осадочных толщах позднеэоценового возраста. Одной из крупнейших является также открытая Л. В. Фирсовым в 1965 Пучеж-Катунская астроблема диаметром 80 км, расположенная недалеко от Нижнего Новгорода.

Преобразование вещества в импактных процессах обеспечивается главным образом действием ударных волн, которые создаются при высокоскоростном ударе и вызывают ударный метаморфизм пород мишени. Ударный метаморфизм характеризуется экстремально высокими параметрами, включая импульсные давления до 3000 ГПа и более и остаточные постударные температуры до 30 000°C, которые могут создаваться в изменяемой породе. Такие экстремальные параметры никогда не достигаются при любых эндогенных процессах у поверхности планет.

Первая находка импактных алмазов в породах земных метеоритных кратеров была сделана В.Л. Масайтисом в 1971 г. в Попигайской астроблеме [Масайтис и др., 1971]. Через несколько лет было выяснено, что импактные алмазы как продукты дальнего закратерного выброса были обнаружены З.В. Бартошинским еще в 1968 году и названы «якутитами» [Чумак, Бартошинский, 1968], происходящими из неизвестного типа коренных источников, сейчас надежно установлено их импактное происхождение и связь с Попигайским кратером. Поле рассеяния якутитов показано на рисунке 1.2 (из [Вишневский и др., 1997]); дальность разброса превышает 550 км. Якутиты могут образовывать россыпи с содержанием дол 2-3 каратов/м<sup>3</sup>. Можно предположить, что благодаря своей устойчивости и обилию алмазоносных астроблем, переотложенные импактные алмазы обоих типов широко распространены в различных осадочных породах земной коры.

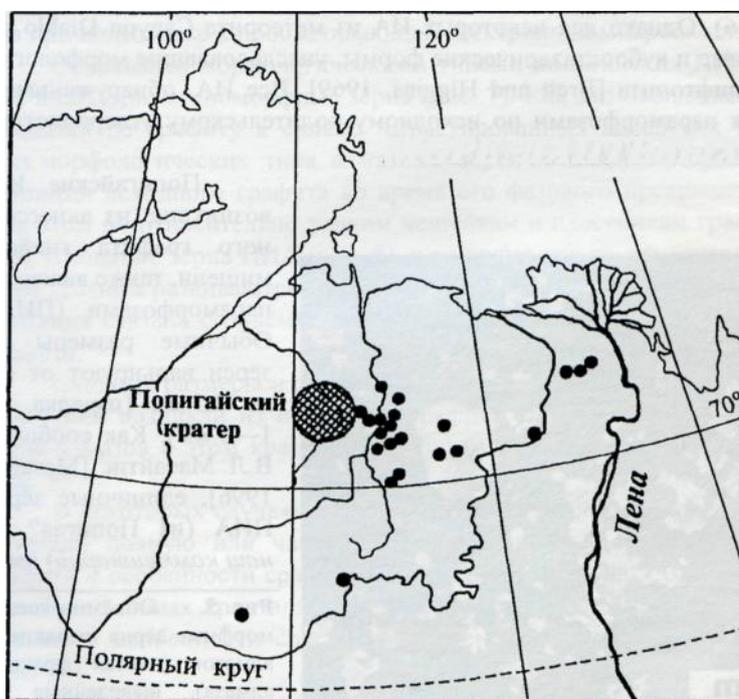


Рис. 1.2. Поле рассеяния импактных алмазов-якутитов (находки показаны чёрными кружками) в окрестностях Попигайского кратера (по [Вишневский и др., 1997]).

Все импактные алмазы, обнаруженные в метеоритных кратерах, являются параморфозами по исходному графиту, т. е. представляют параморфозы. Обычные размеры их зёрен варьируют от 0.1 до 0.5 мм, изредка, до 1—5 мм. Якутиты имеют размеры до 10 и более мм [Масайтис и др., 1998].

В целом изотопный состав углерода параморфоз импактных алмазов "лёгкий", с  $\delta^{13}\text{C}$  варьирующим от -9 до -24,57 ‰. Изотопные составы алмазов Попигайского кратера и якутитов показывают, что они имели общий с исходным графитом пород мишени (архейские гнейсы)

источник углерода. Таким образом, в процессе образования земных параморфоз импактных алмазов существенного изотопного фракционирования углерода не происходило.

Как отмечено выше, ударнометаморфические алмазы образуются из углеродистого вещества мишени при очень высоких P-T параметрах. Возможная зона ударного образования параморфоз импактных алмазов в Попигайском кратере, ограничена ударными давлениями от 35 до 140 Гпа [Вишневский и др., 1997].

Якутиты в пределах своего ареала приурочены только к неоген-четвертичным отложениям; в более древних осадочных породах региона якутиты не обнаружены. Якутиты широко распространены в современных и неоген-нижнечетвертичных россыпях Анабарского, Нижнеоленинского, Среднеоленинского и Верхнеоленинского районов. Они установлены в отложениях высоких террас рек Анабар, Уджа, Оленек, Лена и в неоген-четвертичных железистых галечниках, где их содержание достигает 11% по количеству от всех найденных алмазов и 4% по весу, в бассейнах рек Келимер и Некабыт - соответственно 15% и 3%, а алмазы реки Арга-Сала и второй террасы реки Оленек выше устья реки Кютюнде представлены исключительно якутитами.

Таким образом, в комплексах алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы присутствуют алмазы, представляющие материал дальнего закратерного выброса Попигайской астроблемы. Эту разновидность алмазов Ю.Л. Орлов добавил, как XI разновидность в свою классификацию [Орлов, 1984]. Впервые якутиты были найдены при изучении россыпей бассейна реки Анабар. Из-за отсутствия рентгенолюминесценции эти алмазы не извлекаются обычными методами, и только использование жировой сепарации в конце 60-х годов прошлого века привело к их обнаружению. Позднее была установлена алмазоносность импактитов Попигайского кратера и идентичность якутитов и алмазов кратера. Россыпные якутиты практического значения не имеют из-за редкой их встречаемости. Коренные отложения параморфоз импактных алмазов образуют очень высокие концентрации, до десятков карат/т. Кроме того, импактные алмазы обладают очень высокими абразивными свойствами и как технологическое сырье могли бы высоко цениться. Однако удаленность региона и высокая стоимость извлечения алмазов делают их добычу пока нерентабельной.

## **1.2. Неизвестные типы источников алмазов из россыпей**

Россыпи алмазов широко развиты в современных аллювиальных отложениях и мезозойских коллекторах северо-востока Сибирской платформы [Граханов и др., 2007]. Некоторые из них, например, Эбеляхская, Средне-Молодинская, являются уникальными и имеют

огромное промышленное значение. Вместе с тем, известные здесь многочисленные кимберлитовые тела преимущественно мезозойского возраста либо убогоалмазоносны, либо вовсе не содержат алмазов. Индикаторные минералы кимберлитов, ассоциирующие в россыпях с алмазами, по минералогическим критериям алмазоносности Н.В. Соболева [Sobolev et al., 1973] также соответствуют слабоалмазоносным или неалмазоносным коренным источникам. Возникает противоречие между высокой россыпной и крайне низкой коренной алмазоносностью данного региона.

Многолетние усилия по решению этой проблемы привели к установлению факта, что алмазы из россыпей обладают намного более широким спектром типоморфных особенностей, чем алмазы из известных здесь кимберлитов. Более того, некоторые группы алмазов вообще не характерны для фанерозойских кимберлитов Сибирской платформы, либо встречаются в них в незначительных количествах. Это позволяет сделать вывод, что в россыпях северо-востока Сибирской платформы присутствуют алмазы из неизвестных пока типов коренных источников.

Детальное изучение типоморфных особенностей алмазов из россыпей данного региона позволило разделить их на три типа связанные, вероятно, с разными типами коренных источников.

**Тип 1 (кимберлитовый)** включает алмазы, соответствующие алмазам из фанерозойских кимберлитов. Характеризуется резким преобладанием алмазов I разновидности по классификации Ю.Л. Орлова [Орлов, 1973, 1984], представленных ламинарными кристаллами октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитуса, образующими непрерывный ряд, додекаэдроиды с “шагренью” и полосами пластической деформации “жильного” типа, присутствием в незначительных количествах серых кубоидов III разновидности, поликристаллических образований VIII разновидности и очень редко встречающихся кубоидов II разновидности (по Ю.Л. Орлову). В данной группе резко преобладают алмазы ультраосновных парагенезисов с “тяжелым” изотопным составом углерода ( $\sigma^{13}\text{C} = - (3-7\%)$ ), эклогитовые играют подчиненную роль как в кимберлитах, так и в россыпях и имеют более широкий диапазон изотопного состава углерода.

**Тип 2** включает алмазы из неизвестных пока типов коренных источников. В свою очередь он разделяется на три подтипа на основании того, что алмазы, принадлежащие к ним, в россыпях не образуют между собой устойчивых связей.

**2a** - (предположительно лампроитового генезиса) включает типичные округлые алмазы ромбододекаэдрического габитуса т.н. “бразильского” или “уральского” типов с различным соотношением изотопов углерода, как «тяжелым» ( $\sigma^{13}\text{C} -7\%$ ), так и «легким» ( $\sigma^{13}\text{C} -15 \div -25\%$ ).

В известных промышленных кимберлитовых телах фанерозойского возраста Сибирской платформы доля подобных кристаллов не превышает 5% [Коптиль, 1994]. По литературным данным такие алмазы характерны для докембрийских лампроитов Индии (в частности лампроитовой трубки Маджгаван), для докембрийских россыпей Индии, Бразилии, Южной Африки (Витватерсранд), а также россыпей Сьерра-Леоне, Алжирской Сахары, Австралии и многих других регионов. Именно такие алмазы преобладают в россыпях складчатых областей - Урала и Восточного Саяна. Два достоверно установленных алмаза в бассейне реки Джеконда (Центрально-Алданский район) также относятся к этому типу. В качестве минералогического фона они распространены по всей территории Сибирской платформы. По мнению исследователей ЦНИГРИ эти алмазы связаны с докембрийскими коренными источниками и их появление в более молодых отложениях обусловлено размывом докембрийских прибрежно-морских коллекторов [Метелкина и др., 1976].

2б - (неизвестный тип коренного источника) включает желто-оранжевые кубоиды II разновидности по Ю.Л. Орлову [Орлов, 1973, 1984] с изотопным составом “промежуточного” типа ( $\sigma^{13}\text{C}$  от -7‰ до -13,6‰), очень редко встречающихся в кимберлитах, однако довольно широко распространенные в россыпях северо-востока Сибирской платформы,

2в - (неизвестный тип коренного источника) представлен алмазами V и VII разновидностей по Ю.Л. Орлову. К V разновидности относятся темно-серые, иногда почти черные алмазы, по габитусу соответствующие ряду октаэдр - ромбододекаэдр. Их цвет обусловлен массой мелких включений (преимущественно графита), находящихся во внешней зоне кристаллов в виде хлопьев или точечных образований. Вследствие высокой дефектности, кристаллы часто имеют признаки магматической коррозии в форме шрамов, щелей травления, каверн, из-за которых они производят впечатление трещиноватых, лауэграммы показывают мозаично-блоковое строение кристаллов. К VII разновидности относятся сложнодеформированные двойники и сростки кристаллов, имеющие форму ромбододекаэдров. Кристаллы полупрозрачны из-за включений графита и микротрещин, широко развиты каналы травления и шрамы как в субиндивидах, так и по границам между ними [Орлов, 1973, 1984]. В алмазах этой разновидности Э.С. Ефимовой изучен комплекс минеральных включений, соответствующий эклогитовому типу парагенезиса. Общей особенностью V и VII разновидностей алмазов является аномально легкий изотопный состав углерода (-22,21‰ и -20,88‰ соответственно). Кроме того, эти алмазы в россыпях отличаются, как правило, максимальным механическим износом по сравнению с другими алмазами.

*Тип 3* - (импактный) включает т.н. “якутиты”, представляющие собой импактные алмазы – продукты дальнего закратерного выброса Попигайской астроблемы.

Таким образом, в россыпях северо-востока Сибирской платформы существуют по меньшей мере три группы алмазов, тип источника которых неизвестен.

Распределение выделенных типов алмазов в пределах Якутской алмазоносной провинции крайне неравномерное. Алмазы типов 2 и 3 (из неизвестных источников и якутиты) доминируют в россыпях севера провинции, тогда как доля кимберлитовых алмазов составляет меньше половины, местами они отсутствуют полностью. Лишь на одной площади - в раннекарбоновых отложениях Кютюнгинского грабена - кимберлитовые алмазы резко преобладают. Это дало основание для прогноза здесь среднепалеозойского кимберлитового поля. В центральной части провинции ведущая роль переходит к кимберлитовым алмазам, связанным преимущественно со среднепалеозойскими кимберлитами, тогда как алмазы из неизвестных источников и якутиты исчезают.

Анализируя распределение выделенных групп алмазов по разновозрастным коллекторам можно видеть, что в раннекарбоновых отложениях Кютюнгинского грабена отсутствуют алмазы из неизвестных типов источников типов 2б и 2в, а также якутиты, однако они широко представлены в четвертичных отложениях этой же территории. Вероятно, в раннем карбоне источник этих алмазов еще “не работал”. В этой связи необходимо отметить стерильность раннекарбоновых гравелитов в отношении минералов метаморфических пород земной коры. В массовом количестве алмазы из неизвестных типов коренных источников в сопровождении метаморфической “экзотики” появляются в триасе (Западное Верхоянье). Это дает основание полагать, что поступление алмазов в россыпи связано с воздыманием с начала мезозоя Анабарской антеклизы и Оленекского поднятия и обнажением на поверхности докембрийских пород, в том числе, вероятно, и россыпей алмазов в древних прибрежно-морских отложениях, послуживших основным поставщиком алмазов в мезозойские и более молодые россыпи. Следовательно, неизвестные коренные источники алмазов описанных групп имеют докембрийский возраст и найти их можно только в пределах щита, что на практике крайне сложно.

Таким образом, образование полигенной смеси алмазов из источников разного типа и разного возраста в россыпях северо-востока Сибирской платформы тесным образом связано с развитием Анабарской антеклизы и Оленекского поднятия; кроме того, нужно учитывать существование Нижнеленского погребенного в настоящее время выступа докембрия, который существовал как щит до формирования Верхоянской складчатости [Константиновский, 1979].

Приведенные данные по полигенезу алмазов показывают, что при прогнозировании кимберлитов в районах северо-востока Сибирской платформы нельзя ориентироваться на суммарную продуктивность россыпей, необходимо выделять алмазы из разных типов коренных источников и осуществлять по ним прогноз соответствующих типов источников.

Что касается природы неизвестных типов коренных источников, то можно привести следующие соображения. Алмазы V-VII, II разновидностей имеют легкий изотопный состав углерода. По современным представлениям, они могли формироваться за счет органического углерода, погруженного в мантию в составе субдуцирующего блока океанической базальтовой коры. Соответственно, средой кристаллизации таких алмазов могла быть базитовая среда (эклогитизированные базальты). Характер породы-транспортера алмазов предполагать затруднительно, т.к. минералы-индикаторы этих пород могли быть уничтожены полностью в процессах докембрийского прибрежно-морского россыпеобразования и последующих физико-химических изменений. Источников (точнее, типов источников) алмазов должно быть несколько, не меньше двух, поскольку по меньшей мере два независимых типа источников должны были обеспечить вынос на земную поверхность алмазов V-VII и II разновидностей. Таким образом, все три типа алмазов имеют совершенно независимое распределение, следовательно, каждая из них происходит из своего типа коренного источника. Из этого можно сделать вывод, что каждый из предполагаемых типов коренного источника выносил только одну разновидность алмазов. Это в первую очередь касается источников II и V-VII разновидностей, т.к. округлые алмазы все же полигенны и в этом схожи с алмазами из кимберлитов и лампроитов. Моногенность комплексов алмазов характерна для некимберлитовых источников докембрийского возраста типа коматиитов Французской Гвианы, лампрофиров Канады и других. Поэтому вполне допустимо предполагать для алмазов II и V-VII разновидностей два разных источника, возможно базитового состава, разделенных в пространстве и, возможно, во времени, своим происхождением обязанные актам субдукции океанической коры [Галимов, 1984]. Нам не известно, каковы индикаторные минералы этих пород, каковы возможные формы тел, какова величина эрозионного среза. Очень возможно, что эрозионный срез таков, что от коренных источников остались незначительные по площади корневые части, которые трудно найти. Степень износа данных разновидностей алмазов очень различна, но часто высокая, вплоть до полной овализации алмазов [Афанасьев и др., 2019]. Поэтому мы предполагаем, что индикаторные минералы, сопровождавшие эти алмазы, могли быть уничтожены полностью. В целом пока невозможно корректно сформулировать поисковую задачу на эти источники. Ближайшей и реальной задачей является доказательство докембрийского возраста этих источников путем обнаружения алмазов II и V-VII

разновидностей в докембрийских конгломератах, обнажающихся в настоящее время по обрамлению Анабарского щита, а ранее перекрывавших его полностью, но размытых в процессе мезозойского воздымания. Если будет доказан докембрийский возраст источников этих алмазов, то ясно, что искать их можно только на щите, что практически мало реально из-за сложности поисковой обстановки и неопределенности индикационных характеристик коренных источников.

Алмазы типа 2а, относимые к округлым алмазам «уральского» типа, соответствуют лампроитам докембрийской трубки Маджгаван в Индии, что дает основание предполагать также лампроитовый источник. Но справедливости ради отметим, что в лампроитах трубки Аргайл в Австралии содержатся алмазы обычного для кимберлитов морфологического спектра «октаэдр-додекаэдрод», поэтому лампроиты могут содержать разные алмазы. Важно, что додекаэдроды северо-востока Сибирской платформы имеют признаки древности в форме повышенного износа, пятен пигментации зеленого и коричневого цвета, ромбические и серпообразные узоры, связанные со следами удара, свидетельствующие о докембрийском возрасте их источников, как и для уральских алмазов, и вполне возможно, что это лампроиты типа трубки Маджгаван [Метелкина и др., 1976]. На алмазах из россыпей, связанных со среднепалеозойскими кимберлитами, этих «признаков древности» нет, износ на них отсутствует (например, алмазы из россыпей континентального генезиса Водораздельные галечники и Новинка в Мало-Ботуобинском алмазоносном районе (Якутия)), или слабый в форме механогенной полировки или выкрашивания острых ребер сколов и вершин (например, россыпь Тарыдакская в Красноярском крае или россыпь в районе Кютюнгинского грабена в Якутии).

Таким образом, в россыпях северо-востока Сибирской платформы содержатся алмазы трех типов с рядом подтипов: 1 – кимберлитового фанерозойского типа, характерного для среднепалеозойских кимберлитов; 2 – из неизвестного типа докембрийских коренных источников (II и V-VII разновидности алмазов), из неизвестного типа докембрийского источника, возможно лампроитов (округлые додекаэдроды I разновидности); 3 – из импактитов. К сожалению, в настоящее время нет возможности корректно сформулировать поисковую задачу на коренные источники алмазов второго типа; без знания индикационных характеристик их обнаружение может быть только делом случая. Поэтому на сегодняшний день, по нашему мнению, в отношении данных алмазов следует ограничиться перспективой россыпной алмазоносности. Наиболее реально прогнозировать и искать кимберлитовые тела среднепалеозойского возраста, являющиеся источниками алмазов первого типа, причем среди них, судя по морфологии алмазов, вполне могут быть промышленные месторождения.

Относительно масштабов проявления докембрийского алмазоносного магматизма на Сибирской платформе можно отметить, что в настоящее время она в значительной мере закрыта нижнепалеозойскими терригенно-карбонатными породами, а до мезозоя – практически полностью, поэтому реально оценить масштабы докембрийского алмазоносного магматизма невозможно. Но, судя по тому, что «экзотические» типы потенциально докембрийских алмазов только на северо-востоке Сибирской платформы распространены на площади около 400 000 км<sup>2</sup>, а округлые додекаэдровиды почти по всей платформе [Афанасьев и др., 2011а, б], можно полагать, что эти масштабы были весьма значительными, и большинство докембрийских алмазов и их источников погребено сейчас под чехлом нижнепалеозойских отложений.

Как видим, имеются аргументы в пользу существования докембрийской эпохи алмазоносного магматизма на Сибирской платформе. Фактически это развитие идей, сформулированных предшественниками [Метелкина и др., 1975, 1976, Горина, 1973]. И.Ф. Горина обосновала признаки, докембрийской алмазоносности для Сибирской платформы. Она также делит алмазы из россыпей северо-востока платформы на два типа – кимберлитовые из фанерозойских кимберлитов (I) и непохожие на кимберлитовые из докембрийских источников (II). Для первых отмечается локальность распределения и тяготение к кимберлитовым телам, низкий средний вес алмазов (менее 10 мг), октаэдрическая морфологическая гамма, отсутствие или очень слабый механический износ, эти алмазы сопровождаются индикаторными минералами кимберлитов. Для второго типа отмечается очень широкая распространенность и невозможность привязки к коренному источнику, повышенный средний вес (более 20 мг), додекаэдрическая морфологическая гамма и присутствие балласов, повышенный механический износ, алмазы сопровождаются только гидравлическими спутниками, а индикаторные минералы их источников отсутствуют. Источником первого типа алмазов являются фанерозойские кимберлиты. Вторые, по ее мнению, поступают из древних алмазоносных формаций нижнего рифея и верхнего протерозоя. И.Ф. Горина отмечает необходимость изучения протерозойских конгломератов на предмет алмазоносности. К сожалению, идеи И.Ф. Гориной были мало известны, т.к. изложены в локальном малотиражном издании [Горина, 1973] и не усвоены геологами, иначе не пришлось бы потратить огромные средства, время, человеческие усилия на поиск фанерозойских источников алмазов второго типа. Задача изучения протерозойских потенциально алмазоносных отложений остается актуальной.

Так же, как мы предполагаем и для Сибирской платформы, потенциально докембрийские алмазы из россыпей алмазоносных регионов мира можно разделить на две группы по принадлежности к типам коренных источников: 1 – алмазы из источников типа

кимберлитов/лампроитов; 2 – алмазы из неизвестных типов источников. К первому типу можно отнести алмазы из россыпей реки Юань (провинция Хунань, Китай); возможно алмазы Таиланда [Афанасьев и др., 2001]; алмазы островов Калимантан (Борнео), Суматра [Соболев, 1951]; алмазы Алжирской Сахары [Соболев и др., 1992]; алмазы Урала [Кухаренко, 1955]; одна из групп алмазов из россыпей юго-востока Австралии (группа А [Davies et al., 1999]); алмазы россыпи Витватерсранд, россыпей Центральной Африки, Бразилии [Трофимов, 1967; Метелкина и др., 1976; Соболев, 1951] и др. Во всех этих случаях минералогические особенности алмазов позволяют предполагать тип источников, а «признаки древности», проявленные в той или иной степени, в том или ином сочетании – докембрийский возраст. Важную роль играет геологическая позиция алмазов: наличие выступов докембрийского фундамента дополнительно подкрепляет предположение о докембрийском происхождении алмазов; однако, как указывалось выше, следует учитывать, что в настоящее время выступы докембрийского фундамента могут быть закрыты молодыми осадками, а древние алмазы попадают в молодые россыпи после нескольких этапов переотложения.

Ко второй группе можно отнести микроалмазы района Кинг Джордж Ривер (Западная Австралия), не идентифицирующиеся с месторождением Аргайл и имеющие аномально легкий изотопный состав; по морфологии и изотопному составу они аналогичны по алмазам Кокчетавского массива (Казахстан) и имеют, возможно, ту же природу [Соболев и др., 1989].

Приведенных примеров достаточно, чтобы иметь представление о разнообразии типов алмазов и типов коренных источников в докембрии. В фанерозое резко сужается разнообразие типов источников алмазов, ими остаются главным образом кимберлиты, а также значительно менее распространенные алмазоносные лампроиты, представителями которых являются раннемиоценовые лампроиты поля Эллендейл (Западная Австралия) [Jaques et al., 1986]. Сужается и разнообразие типов алмазов, хотя остается достаточно широким, особенно среди алмазов низкого качества, например, в мезозойских кимберлитах Западной и Центральной Африки [Трофимов, 1980].

## **2. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОВЕДЕНИЯ ИМК И ИХ АССОЦИАЦИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ**

### **2.1. Физико-химические изменения ИМК в условиях кор выветривания**

После внедрения кимберлит и индикаторные минералы, содержащиеся в нем, попадают под влияние экзогенных процессов и подвергаются физико-химическим изменениям. Наиболее сильным изменениям горные породы подвергаются в тропическом климате.

Основными факторами для формирования коры выветривания, обеспечивающей глубокое изменение исходных пород, являются промывной режим грунтовых вод и влажный тропический климат.

Вода является универсальной средой, в которой протекают процессы химического выветривания. Поэтому количество воды и водный режим оказывают существенное влияние на характер и степень выветривания [Шварцев, 1978]. При промывном режиме воды, воздействуют с минералами и выносят продукты реакции. При застойном режиме грунтовые воды быстро насыщаются продуктами разложения минералов, что способствует затуханию процессов выветривания. В связи с этим в коре выветривания формируется закономерный профиль, отражающий переход от промывного режима к застойному [Гинзбург и др., 1981] (сверху вниз): 1) интенсивного окисления и конечного гидролиза; 2) конечного выщелачивания, развития гидролиза и окисления; 3) конечной гидратации, развития выщелачивания и начала окисления; 4) гидратации силикатов и начала выщелачивания продуктов физического выветривания.

Например, в трубке им. XXIII съезда КПСС корродированные индикаторные минералы встречаются только в верхней части профиля, в зоне конечного гидролиза; с увеличением глубины минералы со следами гипергенных изменений быстро исчезают [Харькив, 1978].

Вторым необходимым условием для развития гипергенных изменений ИМК является жаркий влажный климат, поскольку высокая реакционная способность грунтовых вод, обеспечивается за счет растворенных органических кислот и CO<sub>2</sub>. Основным источником органических кислот является биомасса, максимальное производство которой обеспечивает тропический климат [Сапожников, 1968]. Это хорошо согласуется тем, что по данным палеорекострукции положения Сибирской платформы именно в позднем девоне она находилась в тропической зоне [Cocks et al., 2007, Ушаков, 1984] (рис. 2.1).

Еще одним значимым фактором является рельеф местности. Оптимальной геоморфологической обстановкой для развития коры выветривания является приподнятая суша (300-700м над уровнем моря) со средне расчлененным рельефом, который обеспечивает хороший дренаж. Этим условиям отвечает приподнятый пенеплен, развитый на Сибирской платформе

после девонской трансгрессии. Именно на таком пенеппене развивалась среднепалеозойская кора выветривания на территории Сибирской платформы.



Рис. 2.1. Положение Сибирской платформы в девоне [Cocks et al., 2007].

Результаты изучения коры выветривания на трубке им. XXIII съезда КПСС Мало-Ботуобинского района показали ее сходство с корой выветривания на кимберлитах Западной Африки, на основании чего Э.А. Шамшина делает вывод о том, что коры выветривания на кимберлитах Якутии развивались в климате, близком к тропическому [Шамшина, 1979].

На протяжении фанерозоя Сибирская платформа только в позднедевонское время находилась вблизи экватора, где обеспечиваются необходимые климатические условия для гипергенного растворения минералов, следовательно, только одна кора выветривания, среднепалеозойская, оставила следы на индикаторных минералах [Шамшина, 1979, Зинчук, 1994]. Наши исследования ИМК в разных районах Сибирской платформы, в том числе в районах триасового и юрско-мелового кимберлитового магматизма, не показали признаков гипергенных изменений на минералах, поступивших в сферу седиментогенеза со среднего карбона и позднее. В триас-юрское время Сибирская платформа уже переместилась в более высокие широты в зону более прохладного климата [Cocks et al., 2007]. Вероятно, именно поэтому более поздние коры не обеспечивали гипергенное растворение минералов. Отсюда следует ключевое значение

индикаторных минералов, несущих следы гипергенных изменений, связанных со среднепалеозойской корой выветривания, как хронологического репера, позволяющего разделить историю развития ореола на «до» и «после» корообразования. Это позволяет восстановить историю развития ореолов индикаторных минералов и дать прогнозную оценку алмазоносности района.

Для пиропов прошедших среднепалеозойскую кору выветривания характерно два типа растворения: дислокационный и кубоидный. Дислокационный проявляется в виде волосовидных и клиновидных каналов травления. Кубоидный – характеризуется развитием каплевидного рельефа, устойчивой формой растворения является выпуклогранный кубоид (Рис. 2.2) [Харькив, Волоотовский, 1968, Афанасьев и др., 2001а].

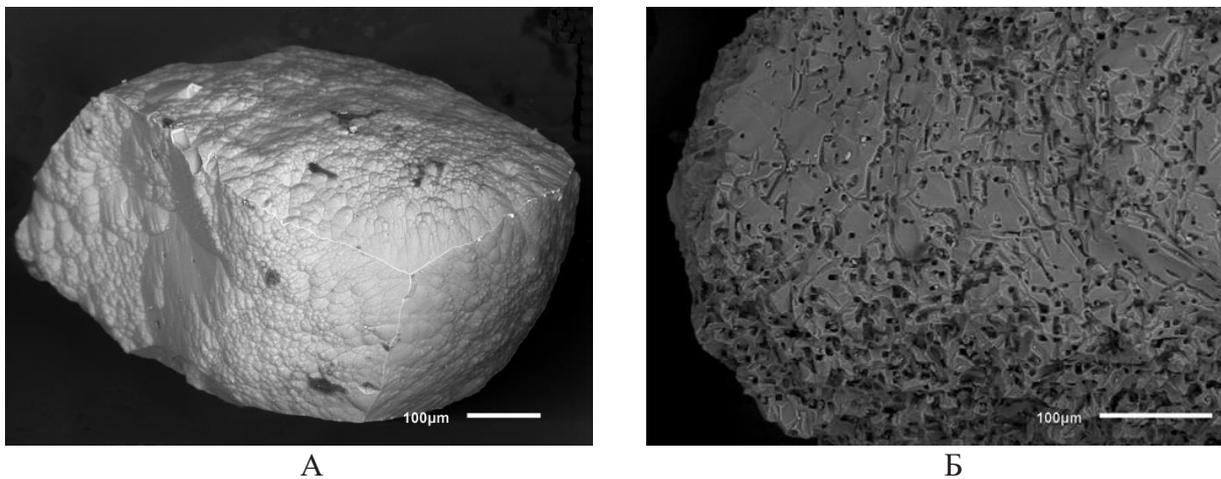


Рис. 2.2. Гипергенные изменения пиропов в условиях коры выветривания: А – кубоидный тип, Б - дислокационный тип.

Помимо изменения морфологии отдельных зерен, изменяется состав ассоциации пиропов в сторону увеличения доли фиолетовых разновидностей по сравнению с коренным источником. Это связано с неодинаковой устойчивостью пиропов различных парагенезисов в условиях среднепалеозойской коры выветривания [Афанасьев и др., 1984].

Пикроильменит, как правило, не имеет следов выветривания, лишь изредка на свежих сколах монокристалльных зерен присутствуют следы лейкоксенизации [Афанасьев, 1991б].

Гипергенные изменения хромшпинелида проявляется в микротрещиноватости внешней зоны зерна, что в подавляющем большинстве случаев не заметно.

## **2.2. Механический износ и изменение ассоциации ИМК в процессе транспортировки.**

Начальным этапом развития ореолов индикаторных минералов является размыв кимберлитов. Это возможно только при нахождении кимберлитовых тел в условиях приподнятой суши. Далее начинается миграция индикаторных минералов в водно-аллювиальных средах.

В разное время предпринимались попытки оценить дальности транспортировки ИМК в современных аллювиальных обстановках. Однако были получены весьма противоречивые данные.

По мнению В.В. Грицика, изучавшего дальность транспортировки оливина на примере Верхне-Мунского кимберлитового поля, этот минерал не переносится дальше, чем на 6 км от коренных источников в силу механической неустойчивости [Бобриевич и др., 1959]. Но Афанасьев В.П. проследил его по современному потоку рассеяния того же поля в русловых отложениях р. Муна на расстоянии 110 км до устья р. Чукар и утверждает, что поток рассеяния, бесспорно, протягивается дальше вниз по течению реки. При этом механический износ на зернах практически отсутствует [Афанасьев и др., 2010]. Нами оливин с трубок Верхнемунского поля прослежен еще дальше [Егорова и др., 2013].

В 80е годы была предложена теоретическая модель транспортировки ИМК в аллювиальных условиях, основанная на экспериментальном определении гидравлической скорости (гидравлической крупности) ИМК и алмазов [Афанасьев, Бабенко, 1988]. Ее основные выводы сводятся к следующему: а) в потоке рассеяния по мере удаления от коренного источника осуществляется гидравлическая дифференциация ИМК по гранулометрии (крупные гранулометрические классы выпадают вблизи коренного источника, мелкие транспортируются дальше) и по плотности (более тяжелые, в первую очередь пикроильменит, концентрируются вблизи коренного источника, более легкие силикатные минералы транспортируются дальше); б) по мере удаления от коренного источника концентрация ИМК падает по экспоненциальному закону. Закономерности транспортировки описываются уравнением:

$$P = P_0 e^{-bx},$$

где  $P_0$  – исходная концентрация минералов в коренном источнике,  $P$  – их концентрации после переноса на расстояние  $x$ ,  $b$  – коэффициент инертности, показывающий вероятность отставания единичной частицы или комплекса частиц данной размерности на элементарном отрезке пути.

Это выражение по форме соответствует уравнению диффузии, и, по сути, описывает множество природных процессов, сопровождающихся рассеиванием той или иной субстанции.

Также нет единого мнения в вопросе связи степени механического износа ИМК с удаленностью от коренного источника. Экспериментальные данные Ф.К. Кюнена по моделированию аллювиального износа свидетельствуют о том, что потеря веса в частично окатанном среднезернистом кварцевом песке на 200 тыс. км переноса составит не более 1 %, и чтобы угловатое неокатанное 0,5-миллиметровое кварцевое зерно стало полуокатанным

(примерно 20 % потери веса), ему необходимо пройти путь в 400 тыс. км. То есть по данным Ф.К. Кюнена визуально фиксируемая степень механического износа в аллювиальных обстановках практически не достижима [Kuenen, 1960].

А.Д. Харьков связал степень механического износа зерен с дальностью аллювиальной транспортировки [Харьков, 1978]: на расстоянии 0,2-0,6 км встречаются целые зерна индикаторных минералов и их обломки без видимых следов износа; на расстоянии 0,6-5 км появляется слабый износ на пикроильменитах, трещиноватые зерна пиропов встречаются редко или отсутствуют; на расстоянии 5-15 км среди пиропов и пикроильменитов преобладают обломки, целые зерна практически отсутствуют, наиболее выступающие части зерен сглажены; на расстоянии 15-40 км зерна представлены осколками без первичной поверхности, форма зерен изометрически-овальная; на расстоянии более 40 км ИМК представлены мелкими (до 1 мм) идеально окатанными зернами, в большинстве ореолов присутствует либо пироп, либо пикроильменит.

В 90-е годы была разработана теория, согласно которой степень механического износа ИМК определяется не удаленностью от коренного источника, а с литодинамическим типом ореолов. Этот вопрос будет подробно рассмотрен дальше (см. раздел 2.2) [Афанасьев, Зинчук, 1999].

Видно, что ранее проведенные практические исследования дальности транспортировки ИМК содержат весьма противоречивые данные, поэтому очевидна необходимость проверки теоретической модели на природном объекте. Это оставляет простор для дальнейших исследований в этом направлении.

### **2.3. Литодинамические типы ореолов**

Под литодинамическим типом ореола индикаторных минералов кимберлитов подразумевается специфический комплекс типоморфных особенностей минеральных индивидов и их ассоциаций, отражающий литодинамические условия формирования ореола (ландшафтные, климатические, литологический состав, динамику и кинематику среды и др.) в рамках определенного периода седиментогенеза [Афанасьев и др., 2010].

Формирование ореола индикаторных минералов начинается с размыва кимберлитового тела в условиях приподнятой суши. Так образуются первичные ореолы, которые дальнейшем могут переотлагаться во вновь формируемые ореолы или пополняться «свежими» минералами, возможно, другого литодинамического типа.

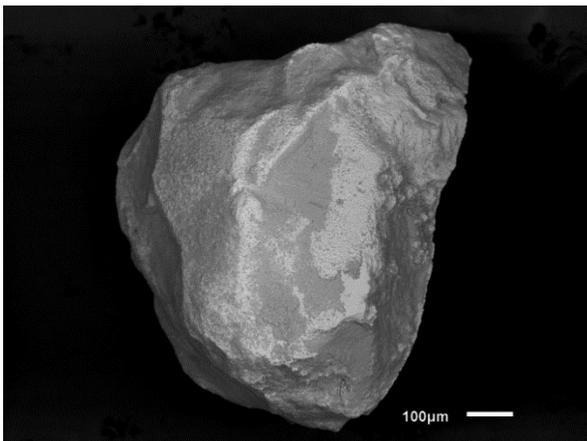
Для Сибирской платформы характерны следующие литодинамические типы: континентальный, трансгрессивный, ингрессивный. Далее рассмотрены характерные черты каждого из литодинамических типов и особенности, позволяющие идентифицировать его [Афанасьев, Зинчук, 1999].

*Континентальный тип ореолов.*

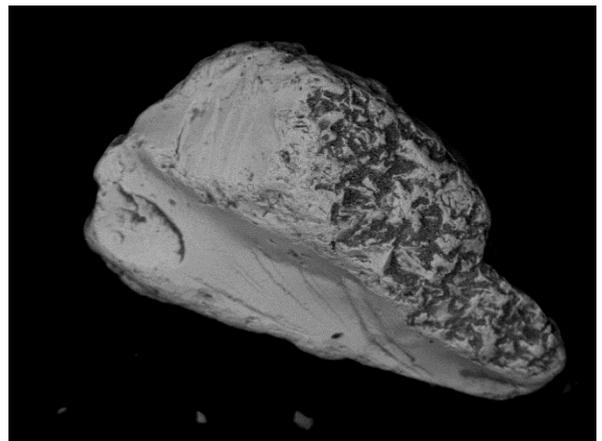
Континентальные ореолы формируются при размыве кимберлитового тела в условиях приподнятой суши, когда под действием силы тяжести начинается перенос обломочного материала водными потоками в сторону конечного бассейна стока. При выравнивании рельефа или при подъеме базиса эрозии процесс постепенно затухает, сокращается объем и дальность транспортировки материала

Для континентальных ореолов характерно следующее:

- 1) слабый механический износ индикаторных минералов (рис. 2.3);
- 2) экспоненциальное падение концентрации индикаторных минералов по мере удаления от коренного источника;
- 3) плохая сортировка ассоциации индикаторных минералов по гранулометрии и плотности;
- 4) Распределение индикаторных минералов по концентрации, гранулометрии и плотности в водотоках имеет векторный характер, который сохраняется и после переотложения.



А



Б

Рис. 2.3. Индикаторные минералы кимберлитов со слабым механическим износом, характерным для ореолов континентального типа. А – пироп, Б - пикроильменит.

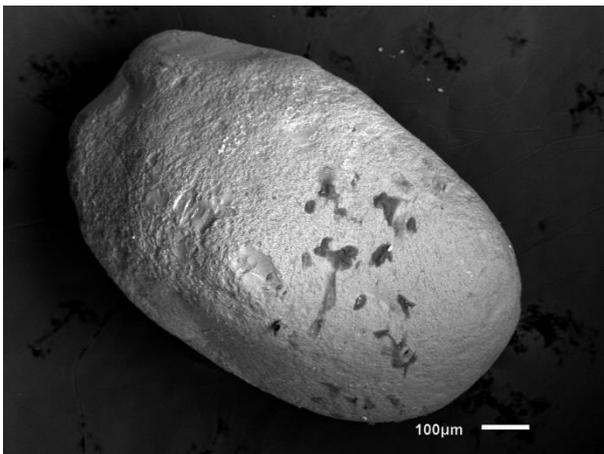
*Трансгрессивный литодинамический тип ореолов.*

Трансгрессивный тип ореолов формируется при наступлении моря, сопровождающемся активной береговой абразией. Как правило, в трансгрессивные литодинамические обстановки поступает материал уже несущий черты ореолов континентального типа: экспоненциальное

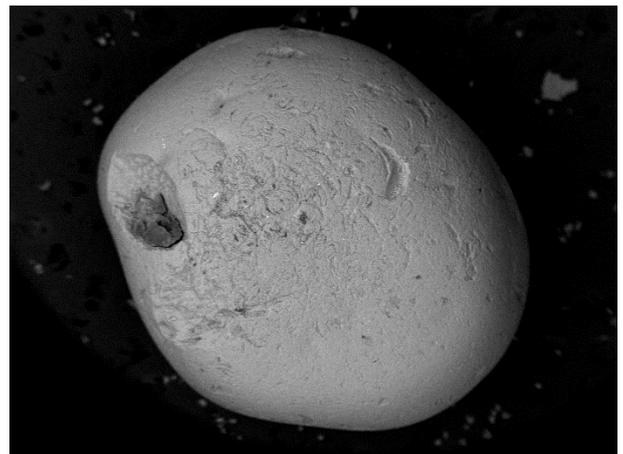
падение концентрации минералов, признаки сортировки по гранулометрии и плотности, слабый механический износ. В трансгрессивных условиях материал первым делом попадает в волноприбойную зону, где в ходе непрерывных возвратно-поступательных движений активно истирается. В таких условиях пикроильменит часто полностью истирается, гранат приобретает высокую степень износа, вплоть до максимальной, и даже на алмазах иногда появляются следы износа в виде механогенной полировки или шероховатых поверхностей.

Для прибрежно-морских трансгрессивных ореолов характерны следующие особенности:

- 1) преимущественно пироповый, возможно с примесью алмазов, минеральный состав;
- 2) максимальная степень износа минералов (рис. 2.4), в том числе алмаза;
- 3) узкий гранулометрический диапазон минералов;
- 4) площадной, выдержанный характер ореолов;
- 5) интегральный состав от группы кимберлитовых тел.



А



Б

Рис. 2.4. Индикаторные минералы кимберлитов с максимальной степенью механического износа, характерной для ореолов прибрежно-морского трансгрессивного типа. А – пироп, Б – пикроильменит.

*Ингрессивный литодинамический тип ореолов.*

Ингрессией называется наступление моря на пенепленизированную после трансгрессии сушу. Происходит подтопление суши, дельтовые, озерно-болотные фации сменяются прибрежным мелководьем бассейна, аллювиальные сменяются озерно-болотными и т.д. Из-за повышения базиса эрозии снижается активность эрозионных процессов, вследствие чего ранее сформированные осадки, в том числе и континентальные, не размываются, а перекрываются озерно-болотными, а выше по разрезу – морскими. При ингрессии активная береговая абразия отсутствует, нет значительного перераспределения или направленного перемещения минералов. На минералах ингрессия может отразиться в слабом вторичном износе, а на пиробазах – в

полировке, если колебания воды, обусловленные волнением на поверхности мелководного бассейна, достигают минералов в осадках, ранее сформированных в континентальных условиях (рис. 2.5). В условиях ингрессивного наступления моря в основании разреза обычно сохраняются продуктивные континентальные фации, сформированные ранее, которые перекрываются непродуктивными тонкими осадками.

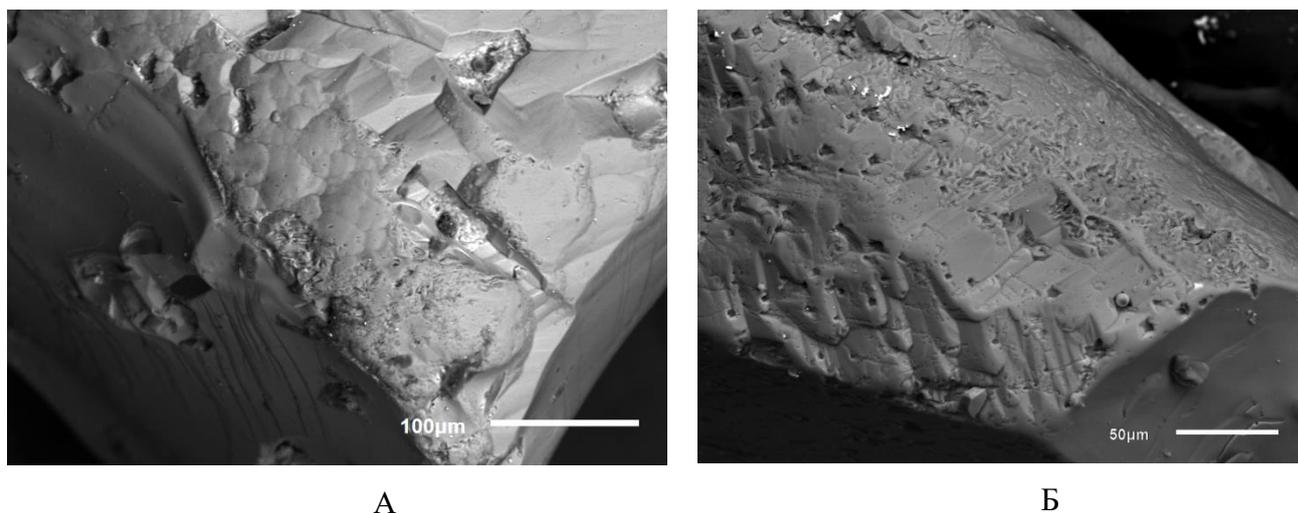


Рис. 2.5. Механический износ пиропов, характерный для ореолов прибрежно-морского ингрессивного типа: А – слабый вторичный механический износ, развитый по гипергенной поверхности, Б - механогенная полировка по пирамидально-черепитчатому рельефу.

Стоит отметить, что во всех литодинамических обстановках максимальные концентрации индикаторных минералов тяготеют к коренным источникам, хотя отдельные зерна могут переноситься на значительные расстояния. Однако при удалении от кимберлита концентрация индикаторных минералов резко падает, поэтому на некотором удалении они перестают улавливаться стандартными пробами. Соответственно необходима корректировка объема проб в зависимости от поставленных задач. Увеличение объемов опробования дает возможность уловить индикаторные минералы на большем удалении и расширить границы ореола.

#### **2.4. История развития ореолов ИМК Сибирской платформы**

Онтогенический и типоморфный анализ ассоциации индикаторных минералов разных частей Сибирской платформы в сочетании с общегеологическими данными позволил составить общую картину развития ореолов ИМК по всей Сибирской платформе. Полученные данные помогают оценить перспективность конкретных регионов на коренную алмазоносность. Поскольку основная доля продуктивного кимберлитового магматизма Сибирской платформы

приходится на средний палеозой, то имеет смысл рассматривать историю развития ореолов именно с этого времени.

Датировки абсолютного возраста для основных кимберлитовых полей, содержащих промышленные месторождения алмазов (Накынское, Алакит-Мархинское, Далдынское, Верхнемунское, Мирнинское кимберлитовые поля), показывают, что в целом среднепалеозойский кимберлитовый магматизм Якутской провинции осуществлялся интервале 353-367 млн. лет [Агашев и др. 2004, Кинни и др., 1997], т.е. примерно от границы франа-фамена и на всем протяжении фамена. Эта оценка несколько древнее данной Ф.Ф. Брахфогелем (340-355 млн. лет) [Брахфогель, 1984], однако, она значительно лучше согласуется с общегеологическими данными, приведенными ниже.

Далее коротко представлены основные черты истории и условий формирования ореолов на Сибирской платформе по [Афанасьев и др., 2013]. Эти реконструкции будут взяты за основу при восстановлении истории и условий развития ореолов в изучаемых районах.

С образования кимберлита начинается развитие ореола индикаторных минералов. Морфология минералов, находящихся в кимберлитовом теле, является итогом глубинного и постмагматического этапов его развития (рис. 2.6).

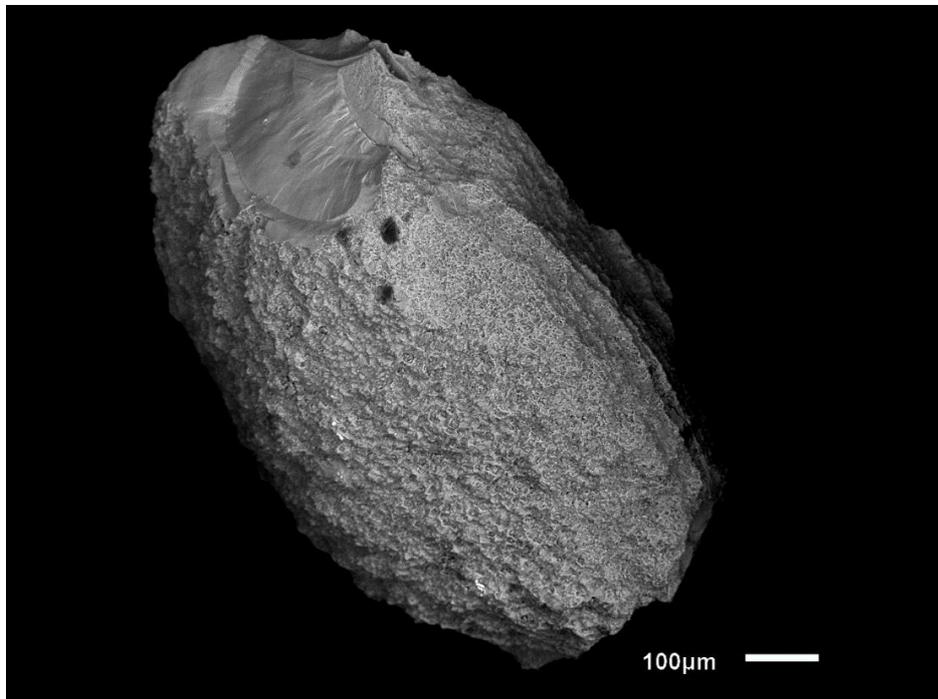


Рис. 2.6. Пироп с «первичной» морфологией.

В дальнейшем первоначальный облик минерала изменяется под действием морфогенетических факторов, таких как химическое выветривание, связанное с корообразованием [Харькив, Вологовский, 1968], и механический износ в процессе

формирования ореолов рассеяния. Каждый последующий этап морфогенеза в определенной мере уничтожает или модифицирует следы предыдущего.

После образования кимберлитов начинается их разрушение в континентальных обстановках, в условиях приподнятой суши, приводящее к формированию механических ореолов рассеяния. На индикаторных минералах фиксируются следы слабого механического износа (Рис. 2.7), связанные с нахождением минералов в континентальных условиях [Афанасьев, Зинчук, 1999]. На этот же период приходится максимальная величина эрозионного среза кимберлитов [Афанасьев, Борис, 1984].

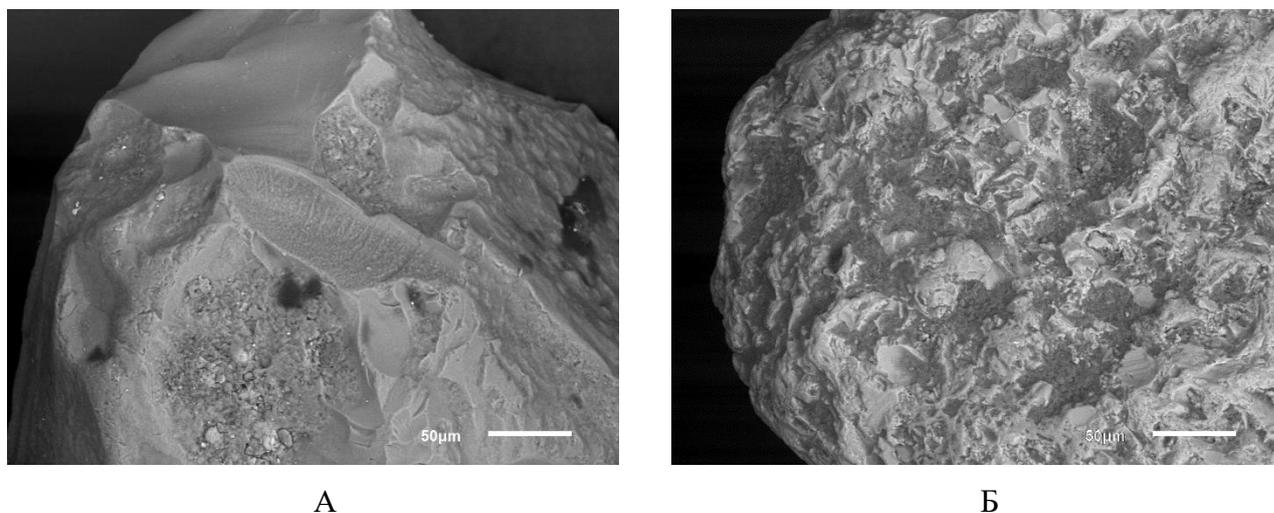


Рис. 2.7. Пироп и пикроильменит из ореолов континентального типа со следами слабого механического износа. А – пироп, Б – пикроильменит.

В конце девона началась трансгрессия моря, которая переработала образованные ранее континентальные ореолы и сформировала прибрежно-морские трансгрессивные ореолы. Поскольку трансгрессия сопровождалась активной береговой абразией, материал, попадающий в зону постоянной волновой активности, в значительной мере окатывается. В некоторых случаях абразивно менее устойчивый пикроильменит может полностью уничтожаться, в то время как пироп приобретает округлую форму, указывающую на максимальную степень механического износа [Афанасьев, Зинчук, 1999] (Рис.2.8).

Кроме того, трансгрессия оставила после себя абразионный пенеплен. Осушение пенепленизированной поверхности в условиях тропического климата (в это время Сибирская платформа находилась вблизи экватора [Cocks et al., 2007, Ушаков, 1984]), привело к развитию среднепалеозойской коры выветривания, оставившей свои следы в форме специфической гипергенной коррозии минералов (Рис 2.9) [Зинчук, 1994, Шамшина, 1979].

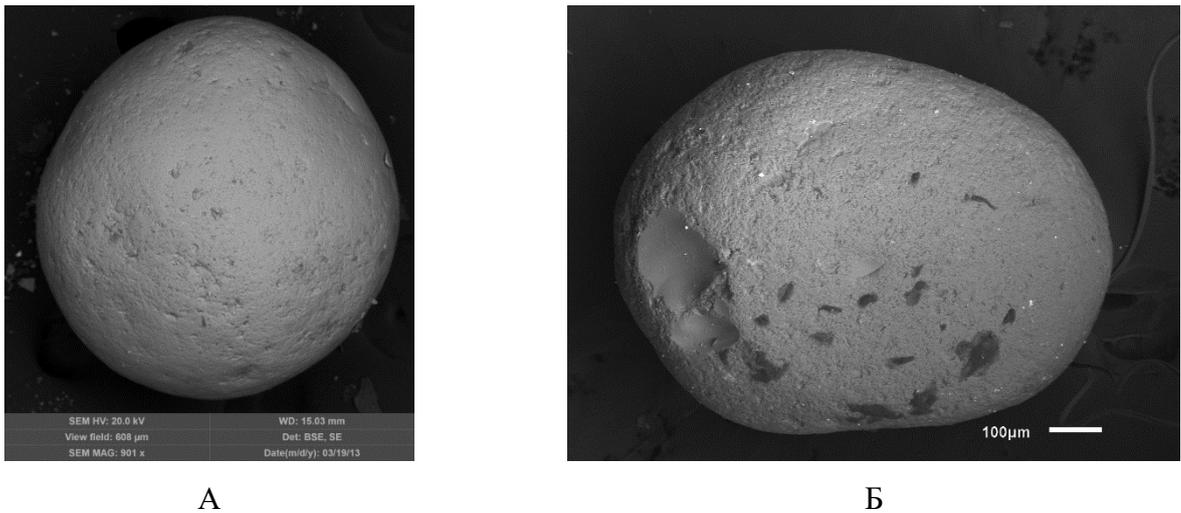


Рис. 2.8. Пироп и пикроильменит с максимальной степенью механического износа. А – пироп, Б – пикроильменит.

Таким образом, кора выветривания, вероятно, была сформирована в самом конце фамена - начале карбона, поскольку между образованием кимберлитов и развитием коры выветривания произошли события, требующие достаточного времени – эрозия кимберлитов, трансгрессия, затем регрессия моря.

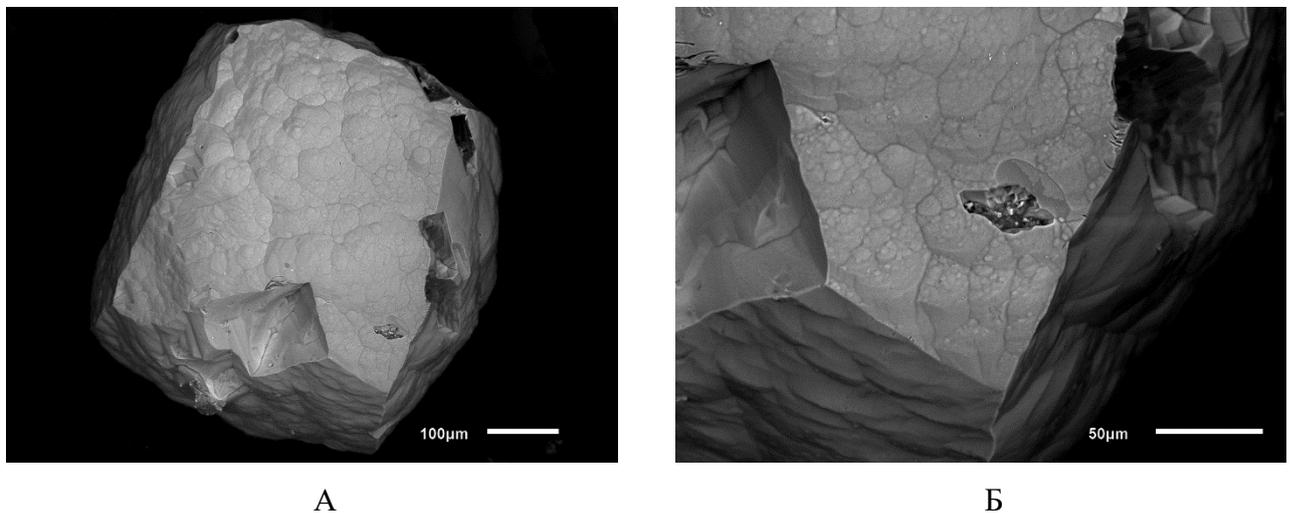


Рис.2.9. Кубоидный тип растворения пироба, связанный с позднедевонской корой выветривания. А – общий вид зерна, Б – детали рельефа.

В раннем карбоне произошло новое наступление моря, которое в условиях пенепленизированной в ходе девонской трансгрессии суши, имело ингрессивный характер. При ингрессии происходит подтопление суши без активной береговой абразии. На индикаторных минералах ингрессия оставляет следы в виде слабого механического износа, для пиропов характерна тонкая полировка с образованием «леденцовых» скульптур [Афанасьев, Зинчук,

1999]. Доказательством того, что ингрессия осуществилась, после эпохи среднепалеозойского корообразования, служит то, что встречаются минералы, на которых коррозионный рельеф сочетается со следами послекорового механического износа (Рис.2.10).

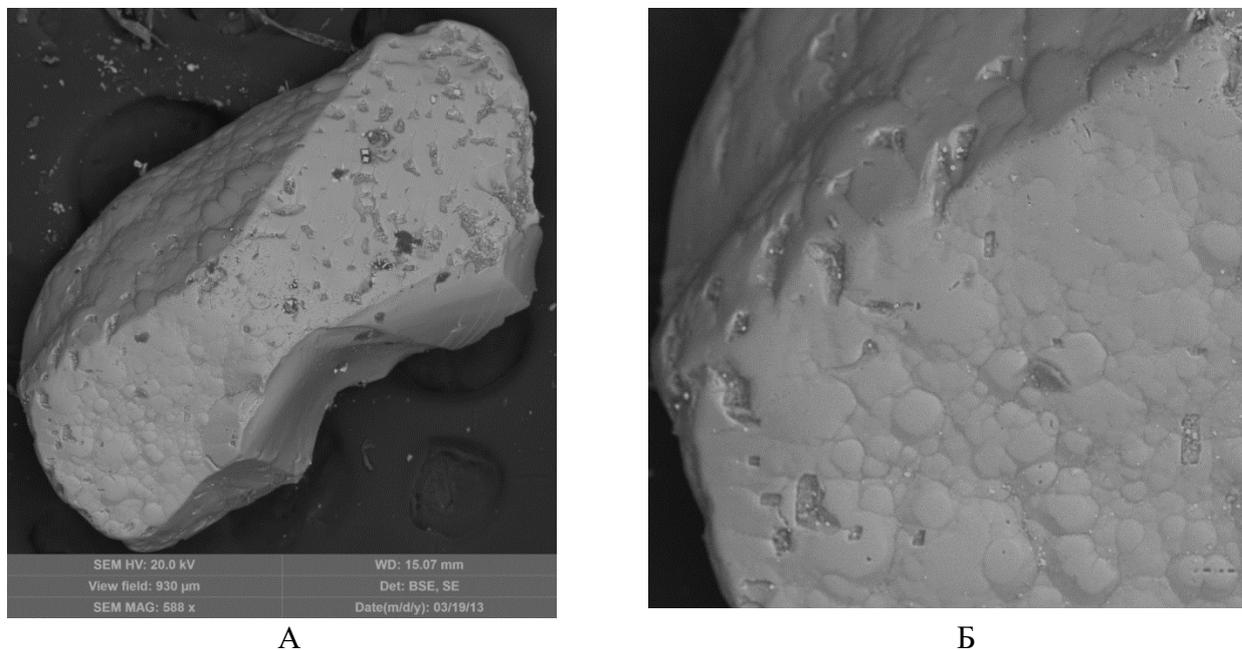


Рис. 2.10. Пироп со следами послекорового механического износа. А – общий вид, Б – детали рельефа.

Масштабы раннекарбоновой ингрессии были значительно меньшими, чем позднедевонской трансгрессии, так как на огромных площадях индикаторные минералы с признаками гипергенной коррозии не имеют признаков послекоррозионного износа, т. е. эти ореолы не подверглись переработке в условиях ингрессии.

Верхнепалеозойский этап начинается со среднего карбона. В это время начинают интенсивно разрастаться ледники в южных частях Гондваны. В них аккумулировалось огромное количество воды, из-за чего уровень Мирового океана существенно понизился. Это обусловило значительное осушение континентов, активизировало эрозионные процессы и континентальный литогенез в Северном полушарии. Поскольку континентальный литогенез начался на основе абразионного пенеппена после среднепалеозойских трансгрессий, активность эрозионных процессов была невелика. Тем не менее, ее хватило, чтобы практически уничтожить среднепалеозойские коллекторы, а их минералы переотложить во вновь формируемые [Ферхуген и др., 1974].

Со среднего карбона начинается господство ореолов с минералами, переотложенными из размытых среднепалеозойских ореолов.

На большинстве территорий Сибирской платформы основная доля эрозионного среза кимберлитов приходится на средний палеозой, поэтому в переотложенном материале доминируют минералы из среднепалеозойских ореолов [Афанасьев, Борис, 1984]. Для переотложенных минералов характерно наличие гипергенной коррозии (рис. 2.10) и средний (рис. 2.11) до сильного механический износ (рис. 2.8).

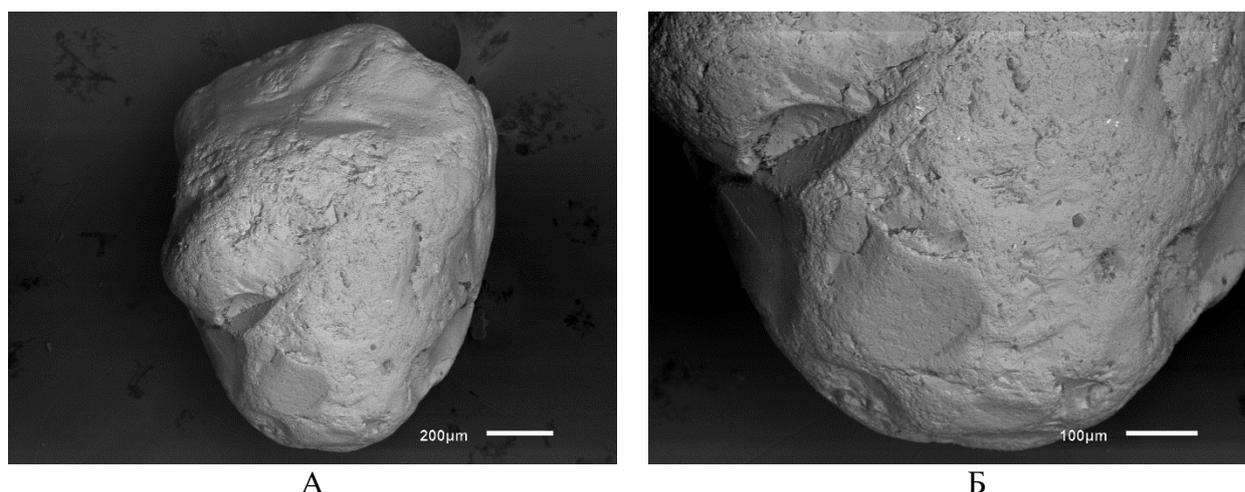


Рис. 2.11. Пироп со средней степенью механического износа. А – общий вид, Б – детали рельефа.

В мезозое на Сибирской платформе произошли новые важные события. Конец перми–триас – эпоха интенсивного траппового магматизма. На пиробах, попавших в зону метасоматического влияния траппов, характерно образование пирамидально-черепитчатого рельефа (рис.2.12).

Море в это время покинуло пределы континента, морское осадконакопление в триасе осуществлялось только по северо-восточной окраине Сибирской платформы. В триасе и юре на Сибирской платформе вновь происходит формирование кимберлитов.

Из мезозойских кимберлитов незначительную алмазность имеют только триасовые, более молодые в большинстве своем неалмазны. На севере платформы начала интенсивно воздыматься Анабарская антеклиза, в пределах которой последовательно размывались разновозрастные отложения, вплоть до обнажения щита, а индикаторные минералы и алмазы из размывших отложений мигрировали в радиальных направлениях. Одновременно шло осадконакопление в Вилюйской синеклизе, в которой также, возможно, были захоронены многие кимберлитовые поля [Константиновский, 1979].

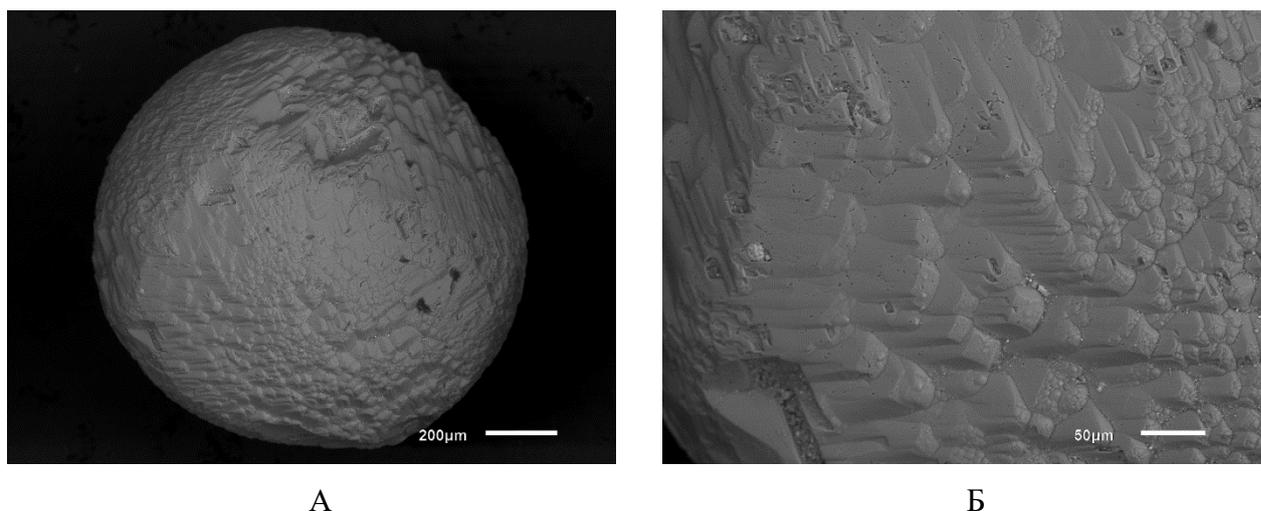


Рис. 2.12. Пироп с пирамидально-черепитчатым рельефом, связанным с влиянием траппового магматизма. А – общий вид, Б – детали рельефа.

Сложное сочетание восходящих и нисходящих движений обусловило разную сохранность верхнепалеозойских отложений на разных площадях, местами они были смыты полностью, а их индикаторные минералы переотложены в более молодые отложения. Основные мезозойские коллекторы ИМК во внутренних частях платформы имеют юрский возраст и ингрессивный характер, что также отражает колебания уровня Мирового океана в тот период. Однако индикаторные минералы, содержащиеся в них, переотложены из развитых здесь ранее средне-верхнепалеозойских отложений.

В мелу основные события на северо-востоке Сибирской платформы были связаны с формированием Верхоянской складчатой системы, при этом в складчатость была вовлечена окраинная часть платформы. Образование Предверхоянского прогиба повлекло “провал” в него Нижнеленского выступа докембрия [Константиновский, 1979], который до этого времени служил источником сноса обломочного материала, в том числе различных метаморфических минералов, а также, возможно, ИМК и алмазов.

На протяжении кайнозоя основная территория Сибирской платформы сохраняет относительно высокое стояние, что обуславливает преобладание эрозионных процессов над осадконакоплением. Там, где врез достигает кимберлитовмещающих пород, возможна эрозия кимберлитовых тел и поступление в аллювиальные и склоновые отложения “свежих” минералов. В частности, такая ситуация наблюдается в долине реки Муна, где в настоящее время происходит эрозия кимберлитовых тел Верхнемунского кимберлитового поля и формируется протяженный поток рассеяния ИМК, изучение которого является одним из предметов данного исследования.

### 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### **3.1. Методика шлихового опробования.**

Для написания данной работы использовались шлихоминералогические пробы, отобранные в ходе полевых работ отрядами лаборатории 451 ИГМ СО РАН, в том числе с участием автора.

В ходе поисковых маршрутов проводятся непрерывные геолого-геоморфологические наблюдения, нацеленные на выяснение особенностей геологического и геоморфологического строения территории, особое внимание уделяется описанию обнажений, выходов магматических пород (в т.ч. кимберлитов), а также находкам обломков магматических пород.

Шлиховое опробование проводится в основном по современной гидросети. Главной задачей данного вида шлихового опробования является констатация кимберлитовых минералов, определение их сохранности и выделение участков с повышенным содержанием ИМК для последующего детального изучения. Пробы отбираются в местах, где имеется галечно-глинистый материал, а также в местах, наиболее благоприятных для концентрации тяжелой фракции и ИМК. Расстояние между пробами четко не определено. Отказ от регулярной сетки опробования связан с тем, что при фиксированном шаге опробования высока вероятность пропуска морфологических и гидродинамических ловушек, попадающих между пробами. При используемой нами методике опробования расстояние между шлихами будет колебаться довольно значительно – от 200-250 м до 2-3 км, в зависимости от перспективности участка.

Глубина отбора проб, как правило, составляет 0,2-0,4 м. Промывка материала проб ведется на лотке амакинского типа, с доводкой до «серого» шлиха, с сохранением всех ИМК – алмазов, пиропов, пикроильменита, хромдиоксида, оливина и их гидравлических попутчиков – ставролита, дистена и т.д. Объем стандартных шлиховых проб составляет 50-60 л и более, в зависимости от реальной геологической и поисковой ситуации. По объему отбираемой пробы данные шлихи можно отнести к средним (среднеобъемным) шлихам (50-70 л), промежуточным между рядовыми (стандартными) шлихами объемом 20 л и крупнообъемными шлихами с объемом 100 и более литров.

На участках с хорошей сохранностью и/или высокой представительностью ИМК выбирается место для отбора крупнообъемного шлиха или мелкообъемной пробы путем тестирования микрофаций гидросети с отбором шлиховых проб объемом порядка 20 л с сокращенной геологической документацией (указываются только координаты точки отбора, объем и характеристика микрофаций). Материал из тестовой шлиховой пробы отобранной в

точке, выбранной для отбора более крупной пробы, объединяется в одну пробу с единым номером.

Основной задачей крупнообъемного шлихового опробования и мелкообъемного опробования является намыв представительного количества ИМК и алмазов. Объем крупнообъемных шлихов составляет в среднем 200-500 л, мелкообъемных проб – 2-7 м<sup>3</sup>.

В связи с большим объемом материала при отборе мелкообъемных проб, как правило, прибегают к помощи ручного шейкера, представляющего собой систему сит (-8+4), (-4+2), (-2+1). После грохочения крупный материал (+8) визуально просматривается на алмазы и отправляется в отвал, для каждой из более мелких фракций производится отсадка тяжелой фракции с помощью ручной отсадочной машинки («джиги»), при ее отсутствии, материал промывается на лотке.

Крупнообъемные шлихи могут обрабатываться на месте отбора, без каких-либо вспомогательных устройств, либо на месте отбора освобождаться от грубообломочного материала при помощи сита (+4) и транспортироваться в базовый лагерь, где при накоплении нескольких проб обрабатываться по схеме идентичной обработке мелкообъемных проб.

При опробовании гидросети, в случае обнаружения локального участка с аномально высоким содержанием ИМК высокой степени сохранности, предусматривается отбор склоновых шлиховых проб. В пределах перспективного контура выполняется шлиховое опробование с меньшим шагом (200-500 м) по трем профилям: один - непосредственно русло водотоков, два других - вдоль подножия обоих склонов за пределами влияния долины. Такое опробование вполне оправдано и достаточно эффективно в пределах высококонтрастных ореолов, так как позволяет не только выявить поток рассеяния кимберлитовых минералов хорошей сохранности в русле, но и подсечь ореол рассеяния от еще неизвестных кимберлитовых тел на склоне, что и является основной задачей данного вида опробования.

Стандартный объем шлиховых проб при склоновом опробовании составляет 20 л, но может быть увеличен в зависимости от конкретной поисковой ситуации. Как правило, опробованию подлежат грубообломочные разновидности пород и конгломераты. Отобранный материал доставляется для промывки к ближайшему водотоку. Удаленность места отбора проб от водоема значительно осложняет процесс опробования и часто требует привлечения дополнительных работников или техники. На месте промывки, материал расситовывается и промывается на лотке до серого шлиха.

Далее все пробы упаковываются, документируются и отправляются в лабораторию для дальнейших исследований.

### **3.2 Физиографическое изучение ИМК.**

Физиографический анализ ИМК является первым этапом изучения зерен, извлеченных из шлиховых проб. Физиографическим анализом называется комплекс исследований, осуществляемых на качественном уровне с помощью визуальных наблюдений невооруженным глазом, либо с использованием оптических и других приспособлений (например, бинокулярный и электронный микроскопы), расширяющих возможности зрительного восприятия. В комплекс физиографических признаков входят кристалломорфология (габитус кристаллов и гранная морфология), проявления механического износа и хронологические взаимоотношения разного рода скульптур, цвет минерала, включения в нем, характер скола и зональность [Афанасьев и др., 2010].

При работе над диссертацией было просмотрено и описано большое 600 проб из разных алмазоносных районов Сибирской платформы. При стандартном физиографическом описании отмечаются основные типоморфные признаки, на основе которых формулируются прогнозные заключения. Эти признаки показаны в таблице (рис. 3.1).

В первую очередь все индикаторные минералы были разделены по классам крупности на 4 группы:  $-0,5+0,25$  (от 0,25 до 0,5 мм),  $-1+0,5$  (от 0,5 до 1мм),  $-2+1$  (от 1 до 2мм),  $+2$  (2 мм и крупнее). Спектр классов крупности является индикатором удаленности от коренного источника: по мере удаления наблюдается сортировка, сужается гранулометрический спектр. Крупные гранулометрические классы выпадают вблизи коренных источников, в то время как более мелкие зерна прослеживаются на большие расстояния.

Основные индикаторные минералы кимберлитов (пиропы и пикроильмениты) каждого класса крупности подробно изучены с точки зрения механического износа. Мы использовали пятибальную литологическую шкалу окатанности, как наиболее приемлемую для оценки износа индикаторных минералов: 1- механический износ отсутствует либо визуально не фиксируется, 2 – слабый износ, 3 – средний износ, 4 – сильный износ, 5 - максимальный износ (устойчивая форма износа). Второй класс механического износа охватывает довольно большой диапазон износа, от едва заметного до явного притупления ребер и вершин. Это особенно важно помнить при изучении пиропов, поскольку во второй класс попадают пиропы как из источников прямого сноса, так и переотложенные из древних ореолов

Помимо механического износа для пиропов отмечается количество зерен с гипергенными изменениями, связанными со среднепалеозойской корой выветривания (следы растворения по кубоидному и дислокационному типу). Отдельно в примечаниях отмечено присутствие зерен с пирамидально-черепитчатым рельефом, связанным с воздействием трапсового магматизма.

Дополнительно для пиропов дается грубая оценка соотношения зерен по трем цветовым группам: оранжевые, красные, фиолетовые.

№ пробы	кл крупн.	пироп									пикроильменит					хромит			примечание			
		кол-во	гипер	износ					цвет			кол-во	МПР	износ						кол-во	Кур	Кимб
				1	2	3	4	5	оранж.	красн.	фиол.			1	2	3	4	5				
1509	+2	4	2	1	2	1				4	0						0					
	-2+1	3	1		3			1		2	19	2		6	8	3	2	0				
	-1+0,5	9	6	7		1	1	2		7	214	42		122	58	25	9	5	5	2 п/ч		
	-0,5+0,25	2	1?	2						2	84	17		56	18	10		13	12	1?		
3146	+2	1	1		1			1			2					1	1	0				
	-2+1	10	5+2?	7	2	1		1	1	8	3				3			0				
	-1+0,5	0	3+1?								63	20		40	19	4		3	3			
	-0,5+0,25	2	1	2					1	1	9	13		24	13	5		5	5			
104	+2	2		1			1		1	1	2			1	1			0				
	-2+1	5	4	2	2	1				5	64	3		24	30	10		2	2			
	-1+0,5	21	9	18	3					21	66	1		33	24	9		16	16			
	-0,5+0,25	0									0							0				
3988	+2	0									1					1		0				
	-2+1	2	2	2						2	2				1	1		0				
	-1+0,5	7	6	7						7	47	7		15	21	10	1	3	3	Рис: 3 arperat		
	-0,5+0,25	4	4	4						4	255	46		140	82	25	8	4	4	1 Au		

Рис. 3.1. Пример сводной таблицы по морфологии ИМК р. Маят.

У микроильменитов помимо механического износа отмечено количество зерен с микропирамидальным рельефом, который в силу контрастности и ажурности обуславливают высокую чувствительность зерен к условиям транспортировки; такие зерна весьма информативны в оценке степени механического износа.

Содержание хромшпинелидов в кимберлите значительно ниже, чем пиропов и микроильменитов, к тому же на изученных площадях хромшпинелиды представлены преимущественно кристаллами «курунгского» типа, имеющими не кимберлитовое происхождение, и являются «ложными» индикаторами кимберлитов [Афанасьев и др., 2000]. Поэтому мы хромшпинелиды подробно не изучали, а ограничились лишь подсчетом соотношения «курунгских» и кимберлитовых разновидностей.

Редкие ИМК типа циркона, оливина, а также минералы, позволяющие дать оценку источников сноса, отмечены в примечании.

Несмотря на кажущуюся простоту, физиографический анализ дает основной материал для восстановления истории и условий формирования ореолов индикаторных минералов и формулировки прогнозных оценок перспективности коренной алмазности района.

### **3.2. Онтогенический анализ ИМК.**

*Онтогенез* в биологии - индивидуальное развитие организма. В геологии под онтогенезом понимается история развития изучаемого геологического объекта, например, минерального индивида [Григорьев, 1961], минеральной ассоциации или, в случае поисковой минералогии алмаза, ореола индикаторных минералов кимберлитов. Соответственно, под онтогеническим анализом понимается расшифровка истории индивидуального развития объекта. Если рассматривать отдельное зерно индикаторного минерала, то историю его развития можно представить как последовательность геологических обстановок, которые оставили на зерне те или иные следы в виде типоморфных особенностей. В процессе онтогенеза изменения, связанные с каждым последующим этапом морфогенеза, накладываются на изменения предыдущего этапа, стирая и модифицируя их, при этом некоторые типоморфные особенности предыдущих этапов могут быть уничтожены практически полностью [Афанасьев и др., 2010].

Следует обратить внимание, что любая реконструкция истории развития объекта, будь то единичное зерно, минеральная ассоциация или ореол индикаторных минералов, складывается из последовательности событий с указанием их интервала по времени, т.е. имеет дискретный характер.

### **3.4. Типоморфный анализ ИМК.**

*Типоморфный анализ* – это реконструкция геологических обстановок, с которыми связаны те или иные этапы морфогенеза. Под типоморфизмом подразумевается способность минерала отражать в своих структурных, морфологических, физических, химических и других свойствах и особенностях условия среды, в которой он зарождался, рос, существовал на протяжении всей своей истории [Ферсман, 1940].

*Типоморфная особенность* представляет собой качество минерального индивида, отражающее конкретные условия среды существования минерала в конкретные периоды его истории. Иначе говоря, типоморфная особенность – реакция минерала на определенные условия внешней среды [Афанасьев и др., 2010].

В данной работе восстановление истории и условий образования ореолов ИМК опирается на следующие типоморфные особенности:

#### **Морфологические особенности ИМК (пироп, пикроильменит):**

- механический износ визуально не фиксируется - подпитка индикаторными минералами из коренных источников, размываемых в настоящее время.
- слабый механический износ характерен для ИМК из континентальных коллекторов, которые формируются при размыве коренных источников в условиях

приподнятой суши (первичные ореолы ИМК) и для ИМК из прибрежно-морских ореолов ингрессивного типа, которые развивались на Сибирской платформе начиная с верхнего палеозоя.

- средняя и высокая степень механического износа достижим только в прибрежно-морских трансгрессивных обстановках (D3). В таких условиях пикроильменит иногда полностью истирается, гранат приобретает высокую степень износа, вплоть до максимальной.
- механогенная полировка (леденцовые скульптуры) – специфический тип механического износа, характерный только для твердых минералов. В рассматриваемых нами ореолах - для пиропов. Механогенная полировка на пироповых обычно связана с их нахождением в ингрессивных условиях.
- Гипергенная коррозия пиропов связана с растворением в условиях среднепалеозойской коры выветривания. Проявляется в виде каплевидного рельефа. При глубоком растворении формируются кубоиды пиропов, которые являются предельной формой растворения.

#### Морфологические особенности алмазов.

Слабый механический износ проявляется на алмазах в виде выкрашивания острых ребер и леденцовых скульптур, представляющих собой механогенную полировку. Признаки механического износа алмазов могут появиться только в прибрежно-морских трансгрессивных условиях формирования ореола (россыпи), когда пикроильменит в процессе механического износа при формировании ореола (россыпи) уничтожен полностью, а пироп, приобретая устойчивую овальную форму износа, далее лишь уменьшается в размерах [Afanasiev, Polhilenko, 2013].

Степень износа выше слабой не сопоставима с условиями фанерозойского седиментогенеза и достижима только на жестком ложе магматических и метаморфических пород, предположительно в прибрежно-морских докембрийских коллекторах [Метелкина, 1976]

Таким образом, наличие тех или иных типоморфных особенностей позволяет восстановить геологические обстановки, в которых находились ИМК, а хронологические взаимоотношения этих особенностей в сочетании с историей развития Сибирской платформы дают возможность с помощью онтогенического анализа восстановить историю развития ореолов.

### **3.5. Аналитические методы исследования ИМК.**

Химический состав гранатов определялся методом рентгеноспектрального микроанализа с электронным зондом на микроанализаторе JEOL JXA 8100 в аналитическом центре ИГМ СО РАН. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе пучка 40–70 нА, диаметр пучка электронного зонда составлял 2 мкм, время отсчета 20 сек для пиков и 10 сек для фона. Для силикатов проводился стандартный 10-элементный анализ на элементы с пересчетом на окислы: SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, MnO, CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O. Пределы обнаружения для SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> составляли 0,03–0,04 мас. %, а для FeO, MnO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, – 0,05–0,07 мас. %. Точность анализа 2 отн. %. Подробнее метод описан в работе [Королук и др., 2008].

#### **4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЙНИЯ**

Ранее были проведены измерения гидравлической скорости (гидравлической крупности) основных индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) – пиропов, пикроильменитов, хромитов, а также алмазов, и на этой основе разработана теоретическая модель транспортировки ИМК [Афанасьев, Бабенко, 1988]. Но для верификации этой модели требуется проверка на природных объектах, в частности изучение современного потока рассеяния от кимберлитового тела на достаточно большое расстояние. Трудность такой проверки связана с тем, что ореолы ИМК как на Сибирской платформе, так и в мире, в большинстве случаев гетерогенные (т.е. представлены смесью ИМК из разных коренных источников и разных литодинамических типов ореолов) и гетерохронные (т.е. представлены смесью минералов разных периодов эрозии кимберлитов), что является следствием переотложенного характера ореолов [Афанасьев и др., 2010]. Поэтому крайне сложно подобрать «чистый» объект, формирующий поток рассеяния от одиночного кимберлитового тела или хотя бы группы сближенных кимберлитовых тел и исключаящий подпитку индикаторными минералами из древних коллекторов.

Опыт работ на Сибирской платформе позволил в качестве эталонного объекта для выяснения закономерностей транспортировки ИМК выбрать Верхнемунское кимберлитовое поле (рис. 4.1).

Оно представлено компактной группой эродируемых в настоящее время кимберлитовых тел, расположенных в бассейне реки Улах-Муна – притока реки Муна. Эту группу можно рассматривать как единый источник ИМК с отсчетом потока рассеяния от нижней по течению трубки – трубки Поисковая. Поток рассеяния протягивается по руслу Улах-Муны, далее по руслу реки Муна на неопределенное расстояние. На дневной поверхности здесь обнажены терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя (кембрий), которые являются кимберлитовмещающими. На них фрагментарно сохранились терригенные отложения юры, которые ранее были распространены значительно шире, но к настоящему времени практически размыты. Юрские отложения содержали комплекс ИМК из среднепалеозойских кимберлитов (пиропы, пикроильмениты, хромиты, редко оливины и хромдиопсиды, а также алмазы), которые в настоящее время сброшены в современную гидросеть, в том числе реки Улах-Муна и Муна, т.е. реально поток рассеяния по этим рекам также гетерогенный и гетерохронный. Но большинство этих переотложенных минералов имеет «признаки древности» (гипергенная коррозия, связанная со среднепалеозойской корой выветривания, докоровый и послекоровый механический износ), по которым можно отличить их от продуктов современного размыва кимберлитов [Афанасьев,

Зинчук, 1999]. К сожалению, абсолютно надежно отличить переотложенные минералы от минералов прямого сноса затруднительно, кроме того, вдоль по потоку рассеяния могут существовать неизвестные кимберлитовые тела, которые дадут подпитку «свежими» ИМК, что нарушит закономерное распределение ИМК в потоке рассеяния. Поэтому в данном случае мы пользуемся уникальной особенностью кимберлитов Верхнемунского поля – избытком свежего (не серпентинизованного) оливина: именно оливин служит надежным индикатором современного размыва кимберлитов, поскольку из-за физико-химической неустойчивости он не сохраняется в древних ореолах, прошедших среднепалеозойскую кору выветривания, и отсутствует в переотложенном состоянии. Выбор оливина в качестве индикатора современной эрозии кимберлитов ориентировал методику опробования руслового аллювия на получение представительного количества именно этого минерала, независимо от количества других ИМК. Остальные минералы использовались как дополнительный материал.

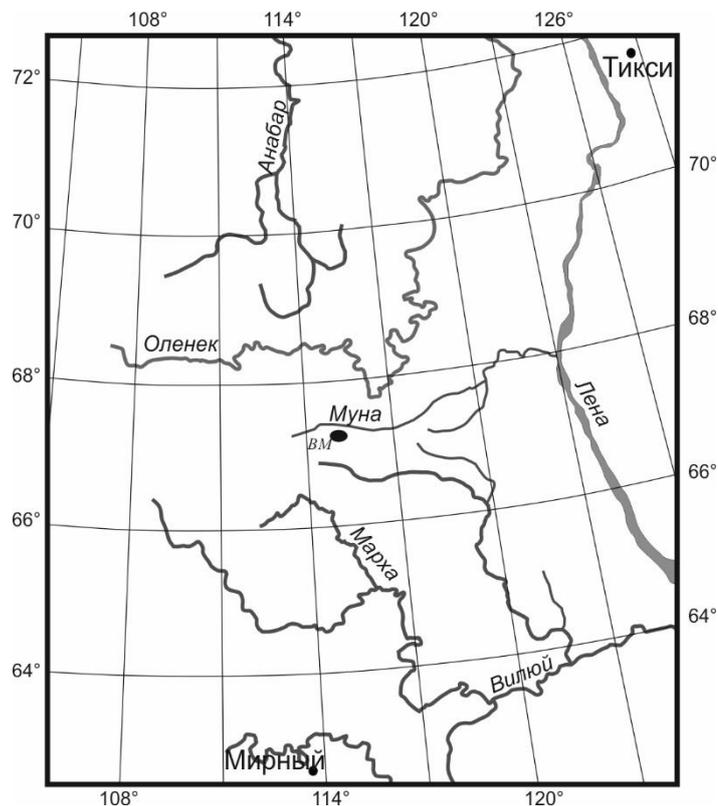


Рис. 4.1. Схема расположения Верхнемунского кимберлитового поля (ВМ – Верхнемунское кимберлитовое поле) [Самданов, 2016].

Для изучения потока рассеяния ИМК кимберлитов Верхнемунского поля полевым отрядом ИГМ СО РАН с участием автора было проведено специализированное шлиховое

опробование от кимберлитового поля вниз по реке Муна на 150 км до устья реки Эгелиндэ – левого притока реки Муна [Егорова и др., 2013].

Пробы отбирались по руслу реки Муна с интервалом 5-10 км, и на крупных притоках за пределами долины реки Муна с интервалом около 1 км. Объем проб варьировал от 20 до 600 л в зависимости от качества материала и концентрации ИМК. Особое внимание уделялось оливинам как индикаторам прямого сноса с кимберлитов. Поэтому объем проб доводился до получения представительного количества оливина; остальные минералы (пиропы и пикроильмениты) при таком условии были представлены в избытке.

Полученные шлиховые пробы были обработаны в лаборатории по стандартной методике, предусматривающей отсадку тяжелой фракции в бромформе, ситовой анализ, выделение монофракций ИМК, которые изучались визуально с помощью бинокулярного микроскопа и сканирующего электронного микроскопа на предмет «признаков древности» для разделения минералов прямого сноса и переотложенных и механического износа в процессе транспортировки. Особое внимание было уделено признакам механического износа на оливинах.

Реальные кривые распределения минералов по концентрации и гранулометрии имеют сложный зубчатый характер, отражающий неоднородность опробования, различный тип и качество «ловушек», поэтому приходится прибегнуть к аппроксимации данных с помощью трендов.

На графике видно, что по мере удаления от коренного источника концентрация оливина резко падает по закону, близкому к экспоненциальному (рис. 4.2). Наиболее хорошо данная зависимость видна на примере зерен оливина класса крупности (-1+0.5). Более крупные классы

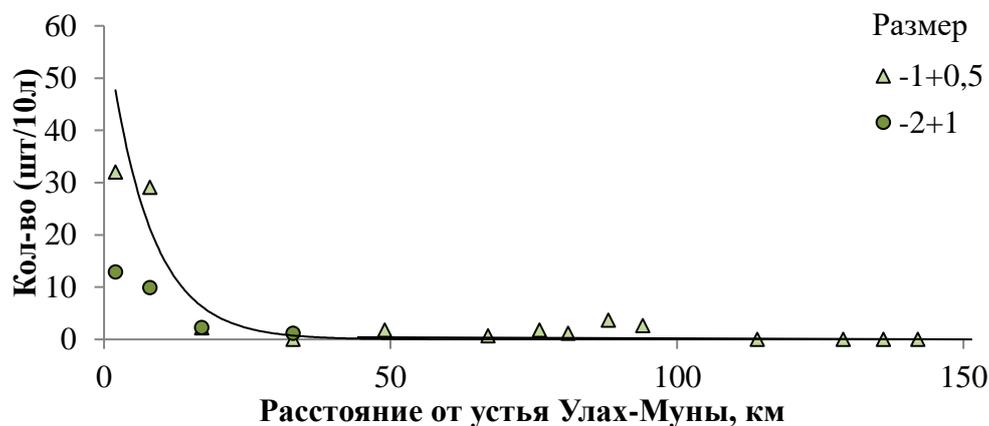


Рис. 4.2. Изменение концентрации оливина различных классов крупности по мере удаления от коренного источника.

прослеживаются на незначительное расстояние, что не позволяет выявить характер распределения.

Распределения пиропы имеет другой характер (рис. 4.3). Графики изменения его концентрации более пологие; несмотря на то, что изучаемые зерна крупнее, зерна класса -2+1 мм прослеживаются на все расстояние опробования. Следовательно, концентрация пиропы падает медленнее, чем концентрация оливина притом, что их плотность достаточно близка и, соответственно, гидравлические свойства также близки. Это связано с тем, что уже в 2 км ниже устья реки Улах-Муна в россыпи Аэродромная коса появляется большое количество ИМК и алмазов, не принадлежащих Верхнемунскому полю; это хорошо видно по пикроильмениту, который доминирует в россыпи при его незначительном количестве в трубках поля. Соответственно появляется и дополнительное количество пиропов из неизвестных источников, чем и объясняются более низкие темпы падения концентрации.

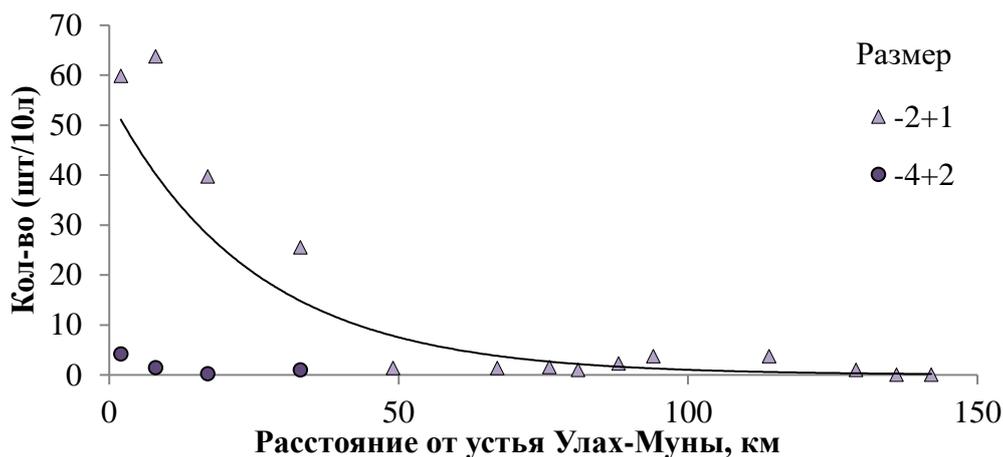


Рис. 4.3. Изменение концентрации пиропы различных классов крупности по мере удаления от коренного источника.

Максимальные темпы падения концентрации оливинов наблюдаются на первых 30-50 км (рис. 4.2). Крупные гранулометрические классы выпадают вблизи кимберлитового поля. Зерна класса -1+0.5 мм и меньше прослежены на расстояние более 150 км.

Результаты опробования, проведенного по современному потоку рассеяния ИМК Верхнемунского поля, согласуются с теоретическим решением как по части гидравлической дифференциации по гранулометрии, так и по падению концентрации по мере удаления от источника. Хотя закономерности транспортировки рассмотрены главным образом по оливину, эти результаты можно экстраполировать на другие минералы с учетом их миграционной способности.

График падения концентрации оливина как наиболее достоверного индикатора прямого сноса с Верхнемунского кимберлитового поля имеет экспоненциальный характер (рис. 4.2). Концентрация пирропа падает значительно медленнее (рис. 4.3), что связано, вероятно, с привнесом пирропов из других источников, в первую очередь из ранее существовавших на данной площади древних осадочных коллекторов ИМК.

Оливины Верхнемунского кимберлитового поля были прослежены на расстояние около 150 км и бесспорно могут быть прослежены дальше при использовании повышенных объемов опробования. Ясно, что по мере удаления от коренных источников объемы опробования, необходимые для достижения представительного количества минералов прямого сноса, должны экспоненциально возрастать в связи экспоненциальным падением их концентрации.

Как уже отмечалось выше, в литературе имеются сведения о низкой миграционной способности оливина Верхнемунского поля. Так, в работе [Бобриевич и др., 1959] констатируется со ссылкой на В.В. Грицика, что оливин не разносится за пределы кимберлитовой трубки на расстояние более 6 км. Наиболее вероятно это связано с тем, что В.В. Грицик проводил опробование стандартными шлиховыми пробами малого объема, поэтому переставал улавливать оливины далее 6 км в силу статистических причин, но не по причине низкой миграционной способности или механической неустойчивости оливина.

Изучение механического износа оливинов показало, что на зернах из россыпи Аэродромная коса вблизи кимберлитового поля износ не фиксируется (рис. 4.4 А), а на оливинах из пробы, взятой в районе впадения р. Эгелинде приблизительно в 150 км от устья р. Улах-Муна, видны лишь незначительные потертости на ребрах и вершинах (рис. 4.4 Б).

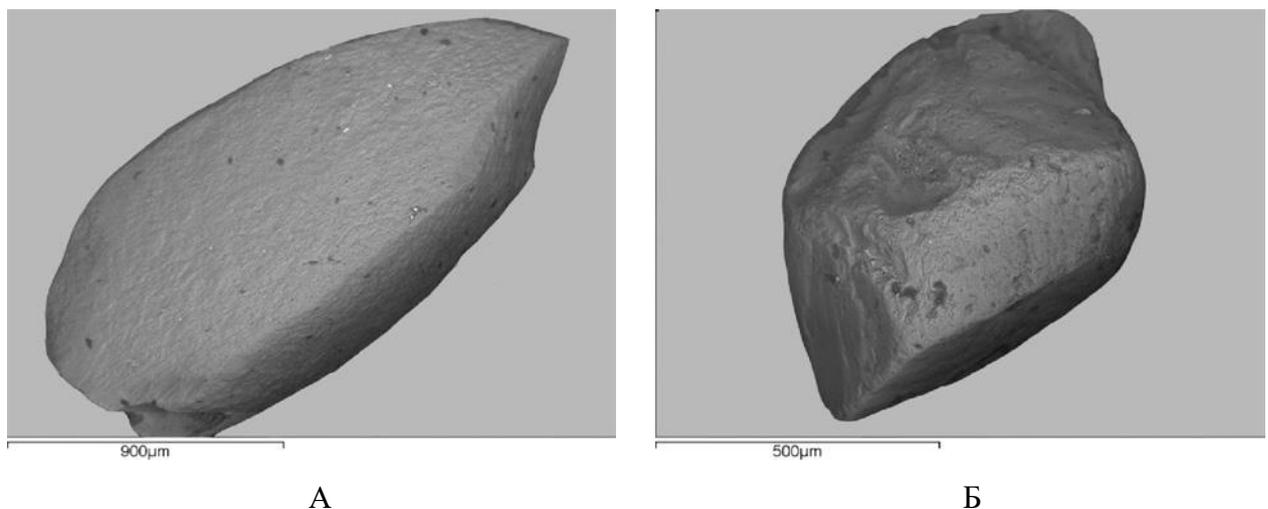


Рис. 4.4. Механический износ оливина на разном удалении от коренного источника. А - 2 км, Б - 150 км.

Существует еще один важный аспект количества и дальности транспортировки ИМК – геоморфологический. Проведенные с участием автора реконструкции показали, что русло реки Муна находится в зоне средней и сильной расчлененности рельефа, что обеспечивает высокую гидравлическую активность и транспортирующую способность этой реки [Афанасьев и др., 2012]. Но уже к югу от Муно-Тюнгского водораздела на Марха-Тюнгском междуречье рельеф становится слабо расчлененным, транспортирующая сила водотоков резко падает. Это приводит к тому, что в русловом аллювии присутствуют только ИМК, переотложенные из юрских отложений и не удастся найти минералы прямого сноса с кимберлитов, хотя по комплексу минералогических признаков неизвестные кимберлитовые поля на данной территории имеются. О дальности прямого переноса ИМК можно судить по следующему примеру. В устье ручья Атырджак – притока реки Тюнг непосредственно в месте их слияния обнаружена карстовая депрессия с ураганным содержанием «древних» ИМК, т.е. с признаками износа и гипергенной коррозии, свидетельствующими об их переотложенном характере [Афанасьев, Зинчук, 1999], [Афанасьев и др., 2001б]. При этом как в самом ручье Атырджак выше депрессии, так и в русле Тюнга выше устья Атырджак ИМК полностью отсутствуют. Поэтому карстовую депрессию можно рассматривать как локальный источник ИМК, размываемый в настоящее время рекой Тюнг. Прослеживание разноса ИМК вниз от депрессии в русле реки Тюнг показало, что уже через 1,5 км ИМК перестают улавливаться стандартными шлиховыми пробами (20 л) [Афанасьев и др., 2001б]. Для сравнения: по реке Муна это расстояние составляет первые десятки километров. Следовательно, дальность и количество переносимых ИМК, как и в целом условия шлихового опробования, определяются также геоморфологическим фактором.

Другой аспект формирования механических ореолов рассеяния связан с величиной эрозионного среза кимберлитов. Значительная величина среза кимберлитов обеспечивает высокую продуктивность ореолов, соответственно повышенную дальность переноса ИМК и алмазов, от алмазоносных трубок формируются россыпи. Так, в Мало-Ботуобинском районе Якутии при суммарном срезе кимберлитов в 350 м, включая трубки Мир, Интернациональная, которые сопровождаются своими россыпями алмазов, сформированы обширные ореолы, они перекрываются, что создает трудности для идентификации и локализации объектов поиска. Зато положительное качество – легко обнаружить индикаторные минералы и алмазы даже небольшими объемами опробования, например, по скважинам. В противоположность этому, в Алакит-Мархинском районе Якутии при величине эрозионного среза кимберлитов в первые десятки метров ореолы очень локальны, сопряжены со своими источниками, нет россыпей

алмазов, соответственно перенос минералов кимберлитов ограничен и уловить индикаторы кимберлитов трудно. Зато при их обнаружении легче локализовать само кимберлитовое тело.

Таким образом, дальность транспортировки ИМК может составлять сотни километров без заметного износа и зависит от: а) степени расчлененности рельефа, т.е. от гидравлической активности водотоков, как современных, так и древних; б) от величины эрозионного среза кимберлитов на соответствующие периоды истории развития ореолов. Нужно учитывать и продуктивность самих кимберлитовых тел: так, трубки Октябрьская и Сувенир в Алакит-Мархинском кимберлитовом поле практически не содержат ИМК, тогда как в трубке Мир содержание пиропов в кимберлите составляет 5 кг/т, пикроильменита – 50 кг/т, [Харьков, 1978], соответственно, ореол от нее весьма насыщен ИМК.

По экспериментальным данным, алмаз имеет гидравлические свойства (гидравлическую крупность) аналогичные пиропу, в первую очередь по причине их близкой плотности. Это противоречит мнению Б.Н. Соколова, который утверждает, что алмаз, благодаря своим поверхностным свойствам (гидрофобность), практически не перемещается в флювиальных условиях [Соколов, 1982]. Практика также показывает, что миграционные свойства алмазов позволяют им переноситься на значительные расстояния. Исходя из этого мы оцениваем распространение потенциально докембрийских алмазов, описанных выше, на площади около 400 тысяч км<sup>2</sup> от моря Лаптевых на севере до реки Муна на юге и от восточной окраины Анабарского щита на западе до реки Лена на востоке [Афанасьев и др., 2019]. С конца триаса, когда в карнийском осадочном коллекторе впервые появились эти алмазы, до настоящего времени происходили неоднократные ландшафтные перестройки, в условиях которых алмазы распределились на огромной территории. Источник этих алмазов не был локальным, они выносились из протяженной полосы вендских (?) или более древних (?) промежуточных коллекторов, обнажавшихся по мере подъема Анабарской антеклизы, Оленекского, Уджинского поднятий, что также способствовало широкому разносу алмазов из этих коллекторов и формированию обширных не структурированных полей распределения алмазов. Иначе для разноса алмазов из кимберлитов. Кимберлитовое тело можно представить как локальный, практически точечный источник, поэтому разнос алмазов будет подчиняться основному закону россыпеобразования – разубоживанию полезного компонента по мере удаления от коренного источника, т.е. подчиняться описанным выше закономерностям. В результате максимальная концентрация алмазов, совместно с ИМК, будет возле кимберлитового тела. В итоге распределение минералогических аномалий, связанных с кимберлитами и их группами (полями)

будет дискретным на фоне бесструктурного распределения «экзотических» алмазов из потенциально докембрийских источников.

Якутиты (XI разновидность по классификации алмазов Ю.Л. Орлова) имеют обычную для алмазов плотность – 3,5 г/см<sup>3</sup> и должны подчиняться закономерностям транспортировки алмазов водными потоками. Однако с конца эоцена (34 млн. лет), когда произошло формирование Попигайской астроблемы, с которой связаны якутиты, ландшафтные условия кардинально не менялись и объяснить их разнос на расстояние более 550 км в флювиальных условиях невозможно. Это подтверждает тезис о том, что якутиты представляют собой продукты дальнего закратерного выброса и дополнительно указывают на гигантскую энергетику импактного события.

Подведем итоги. Изучение современного потока рассеяния ИМК Верхнемунского поля подтверждает теоретическую модель транспортировки ИМК.

По мере удаления от коренного источника концентрация ИМК падает по экспоненте, соответственно нужно экспоненциально увеличивать объемы опробования для получения определенного количества ИМК. Опробование одинаковыми объемами (шлих, мелкообъемная проба, керновая проба) позволяет выделить ограниченный фрагмент ореола, приближенный к коренному источнику; масштабы выделенного фрагмента будут зависеть от объема проб.

По мере удаления от коренного источника за счет гидравлической сортировки шлиховая ассоциация обедняется крупными гранулометрическими классами и тяжелыми ИМК (главным образом пикроильменитом).

Возможность эрозии кимберлитов и дальность транспортировки ИМК в платформенных условиях определяются геоморфологической обстановкой на рассматриваемый период развития ореолов. Для современных ореолов оптимальной является средняя степень расчлененности рельефа, обеспечивающая формирование развитых потоков рассеяния и возможность выхода по ним на коренные источники.

Распределение потенциально докембрийских алмазов из россыпей показывает, что они разносились не из локальных источников (коренных тел), а из протяженных россыпных. Вероятно, их источниками были древние россыпи, обнажавшиеся по мере подъема Анабарской антеклизы, Оленекского, Уджинского поднятий. Якутиты, в противоположность этому, показывают атмосферный разброс, связанный с импактным событием.

На основании материалов, изложенных в данной главе, сформулировано первое защищаемое положение:

*Дальность транспортировки ИМК в аллювиальном ореоле прямого сноса (Верхнемунское кимберлитовое поле) достигает первых сотен километров в зависимости от степени расчлененности рельефа, с падением концентрации ИМК по экспоненциальному закону, при слабом механическом износе.*

## **5. КОМПЛЕКС КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВОЗРАСТА КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ИМК ИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ**

На Сибирской платформе известны три эпохи кимберлитового магматизма – среднепалеозойская (поздний девон), триасовая и юрско-меловая [Агашев и др., 2004, Костровицкий и др., 2009, б, Дэвис и др., 1980, Комаров, Илупин, 1990, Брафогель, 1984, Кинни и др., 1997, Зайцев, Смелов, 2010]. Продуктивной является среднепалеозойская, хотя среди ее кимберлитов имеются как промышленные месторождения, так и низкоалмазоносные или безалмазные трубки. Триасовая эпоха также алмазоносна, но уровень алмазоносности известных кимберлитовых тел ниже, чем среднепалеозойской, в большинстве известных триасовых кимберлитов алмазы не установлены. Юрско-меловые кимберлиты не алмазоносны.

Большинство известных среднепалеозойских кимберлитовых тел локализовано в центральной части Сибирской платформы, тогда как мезозойские кимберлиты тяготеют к окраинам платформы. На окраинах имеются находки и среднепалеозойских кимберлитов, в частности на северо-востоке платформы в районе Кютюнгинского грабена (Толуопское поле). По северо-востоку платформы пространственно совмещены кимберлиты всех трех эпох, из-за чего в современном аллювии и древних коллекторах имеет место смесь индикаторных минералов разновозрастных кимберлитов. Это создает определенные трудности в использовании минералогических методов поиска кимберлитовых тел. Преодоление этих трудностей требует знания типоморфных особенностей ассоциаций индикаторных минералов кимберлитов каждой эпохи.

Многолетнее изучение кимберлитов разного возраста и ореолов индикаторных минералов, связанных с ними, позволило нам выработать ряд минералогических критериев, которые в той или иной мере помогают преодолеть трудности идентификации возраста кимберлитов по минералам из ореолов [Егорова и др., 2016]. Эти критерии основаны на химическом составе (парагенезисах) гранатов и на их морфологических особенностях, отражающих историю и условия формирования ореолов.

В качестве первого критерия рассмотрен химический состав гранатов из разновозрастных кимберлитовых тел. Химический состав гранатов из среднепалеозойских кимберлитов наиболее вариабелен и отражает максимальное разнообразие парагенезисов гранатов в кимберлитах [Sobolev et al., 1973] (диаграмма Н.В. Соболева в координатах  $\text{CaO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ , рис. 5.1 А). Основная масса гранатов принадлежит лерцолитовым парагенезисам, распределение их составов вытянуто вдоль соответствующего поля. На диаграмме также отражены дунит-гарцбургитовые (ниже лерцолитового поля), верлитовые (выше лерцолитового поля) гранаты. Диаграмма

специализирована в большей мере на ультраосновные парагенезисы, поэтому эклогитовые низкохромистые не дискриминируются на этой диаграмме и точки их составов тяготеют к оси СаО. Выделено также поле гранатов алмазного парагенезиса, куда попадают высокохромистые субкальциевые гранаты, по составу соответствующие включениям в алмазах ультраосновных парагенезисов; эклогитовые алмазные парагенезисы на этой диаграмме не отражаются.

Триасовые кимберлиты наследуют распределение составов гранатов, характерное для среднепалеозойских кимберлитов, диаграммы составов в координатах СаО-Сг<sub>2</sub>О<sub>3</sub> достаточно близки. Поэтому сложно только по составу разделить пиропы из кимберлитов этих возрастов в случае их смешивания в ореолах (рис. 5.1 Б).

Юрско-меловые кимберлиты имеют значительно отличающееся распределение составов гранатов, поскольку мощный глубинный метасоматоз в мезозое переработал основание литосферы и изменил характер гранатосодержащих пород. Гранаты из этих трубок главным образом малохромистые и относятся к, так называемым, лерцолитам аномального состава. Кимберлиты не алмазоносны из-за сокращения мощности литосферы и ее метасоматической переработки. Следовательно, юрско-меловые кимберлиты отличаются по химизму гранатов от среднепалеозойских и триасовых (рис. 5.1 В) [Pokhilenko et al., 1999, 2015].

Второй критерий связан с морфологическими особенностями минералов. Очевидно, что чем длительнее история минерала в ореоле, тем больше экзогенных факторов может на нем отразиться. Наиболее богата геологическими событиями история гранатов из ореолов среднепалеозойских кимберлитов. После формирования кимберлитовых тел в начале фамена территория Сибирской платформы испытала мощную трансгрессию, которая оставила за собой абразионный пенеппен и обусловила сильное окатывание индикаторных минералов. Абразионный пенеппен резко изменил характер седиментогенеза в последующие эпохи: наступление моря на ранее пенеппенизированную сушу имело уже характер не трансгрессии с активной береговой абразией, а ингрессии, т.е. подтопления суши, в результате чего сохранялись в качестве базальных горизонтов ранее сформированные отложения континентального генезиса. Такие коллекторы начали развиваться со среднего карбона, и это продолжалось далее на протяжении всего мезозоя и даже кайнозоя. В условиях ингрессии существенный износ минералов не мог осуществиться, поэтому характерен слабый износ, механогенная полировка твердых минералов, в том числе пироба. Следовательно, для минералов из ореолов, прошедших среднепалеозойский этап истории, характерен широкий диапазон степени износа – от слабой до

предельной, причем преобладает средняя степень износа. После среднего карбона на минералах появляются признаки износа второго этапа, но степень износа не выше слабой. Тем самым два

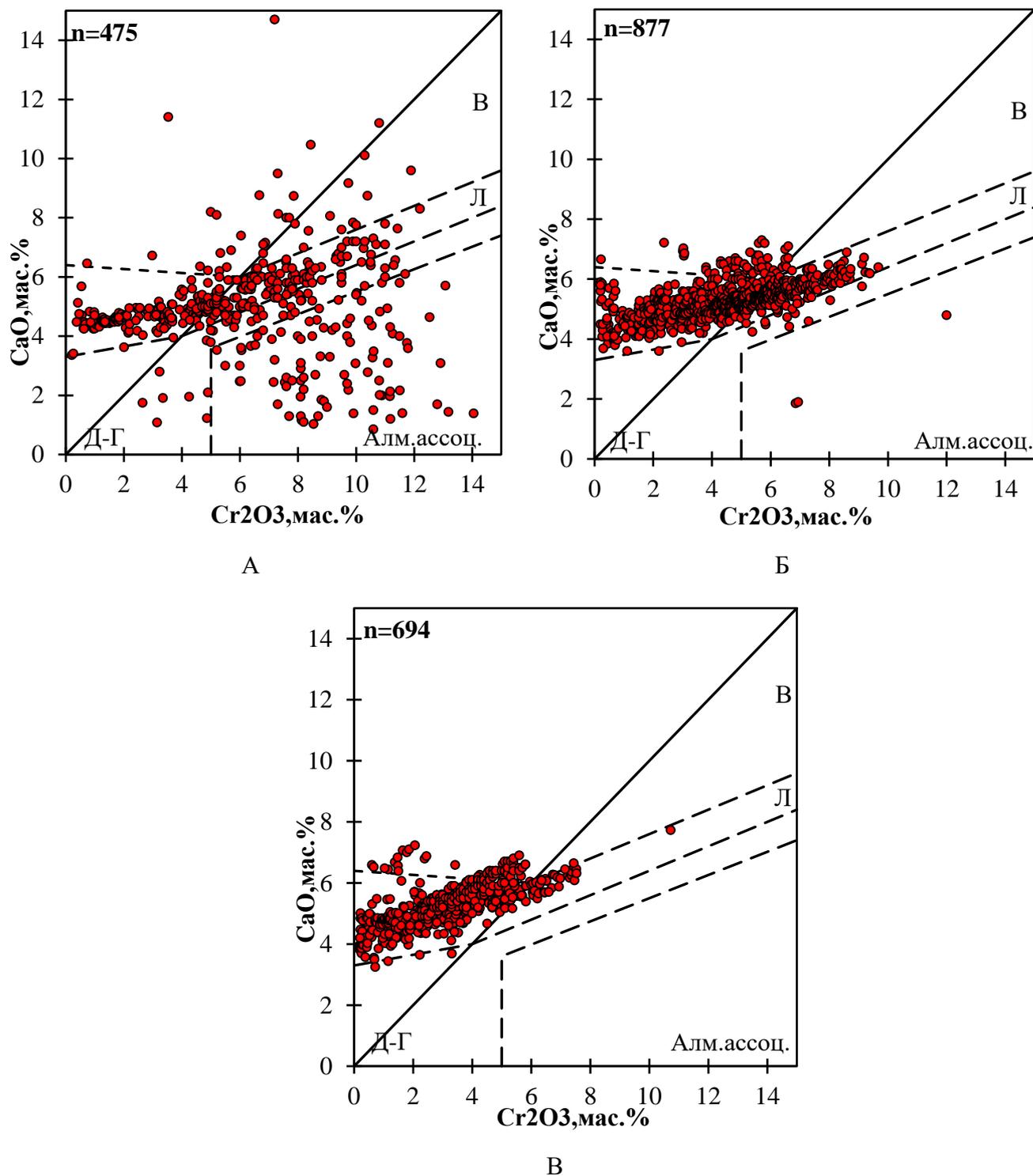


Рис. 5.1. А - трубки Удачная, Айхал, Зимняя (средний палеозой); Б - трубки Эвенкийская, Университетская, Малокуонапская (триас), В - трубки Обнаженная, Второгодница, Оливиновая, Ирина (юра). Поля по [Sobolev et al., 1973]: В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм. ассоц – гранаты алмазной ассоциации.

этапа износа на одном зерне с высокой долей вероятности указывают на среднепалеозойский возраст коренного источника минерала, особенно если второй этап развивается по каплевидному рельефу (рис.5. 2) [Афанасьев и др., 2013].

Если зерно имеет признаки только слабого износа, то оно весьма вероятно может происходить из мезозойских кимберлитов (триасовых или юрско-меловых), но не исключен и мезозойский размыв среднепалеозойских кимберлитов.

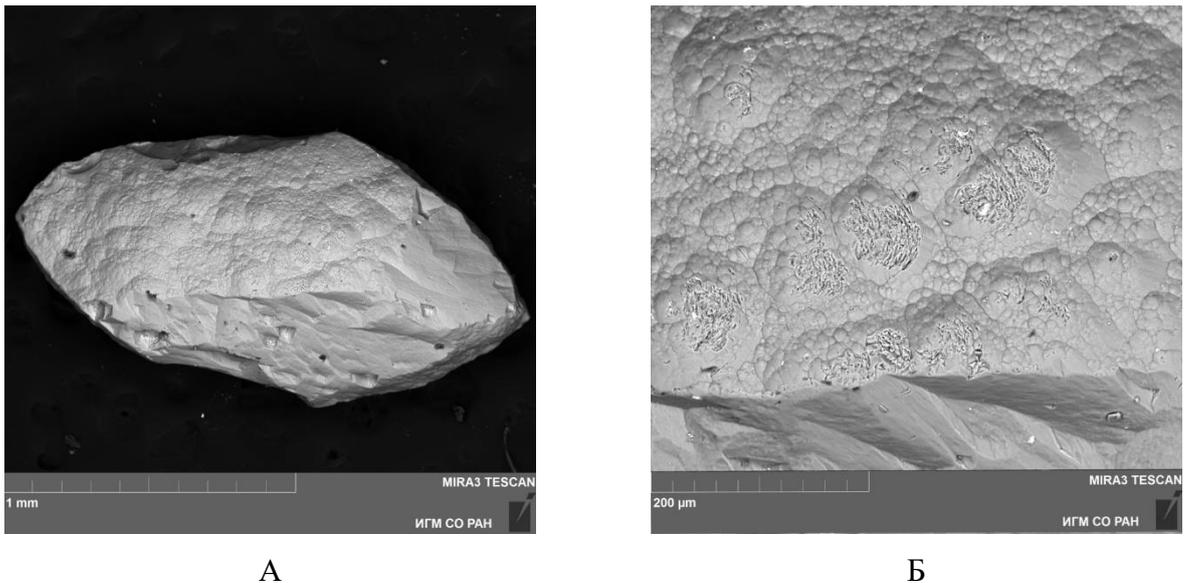


Рис. 5.2. Кубоид пироба со слабым послекоррозионным износом. А –общий вид, Б – детали рельефа.

Следующий критерий связан с физико-химическими изменениями минералов. В конце фанена – начале раннего карбона на Сибирской платформе в условиях тропического климата на выровненной после трансгрессии поверхности была сформирована кора выветривания, в которой индикаторные минералы, в первую очередь пироп, приобрели признаки гипергенных изменений. Это был единственный период в геологической истории фанерозоя, когда в коре выветривания зафиксировано гипергенное растворение ИМК; коры выветривания в более поздние эпохи не оставляли следов на индикаторных минералах [Шамшина, 1979]. Следовательно, признаки гипергенных изменений однозначно указывают на среднепалеозойский этап гипергенеза и, соответственно, на среднепалеозойский возраст коренных источников пиропов.

Подводя итог, констатируем следующее.

Гранаты из среднепалеозойских кимберлитов в ореолах характеризуются: а) разнообразной, главным образом повышенной степенью износа (докоррозионного), иногда присутствует второй этап износа (послекоррозионный) слабой степени; б) признаками

гипергенных изменений; в) специфическим «среднепалеозойским» распределением составов пиропов при наличии гранатов алмазной ассоциации.

Гранаты из триасовых кимберлитов в ореолах характеризуются: а) только слабым износом (исключение составляют пиропы из карнийского прибрежно-морского коллектора по окраине платформы, где роль моря в седиментогенезе была постоянной и пиропы имеют разную, до высокой, степень износа). в) сужением диапозона составов гранатов по хрому и сокращением парагенетического разнообразия; б) отсутствием гипергенной коррозии;

Гранаты из юрско-меловых кимберлитов характеризуются: а) только слабым износом; б) отсутствием гипергенной коррозии; в). специфическим юрско-меловым распределением точек составов гранатов на диаграммах.

На основании изложенного материала сформулировано второе защищаемое положение:

*Комплекс критериев для оценки возраста коренных источников ИМК Сибирской платформы включает состав гранатов, степень их механического износа и гипергенной коррозии. Гипергенная коррозия и повышенный механический износ ИМК, наряду с широкими вариациями состава гранатов и наличием гранатов алмазной ассоциации свидетельствуют о среднепалеозойском возрасте коренных источников; ИМК из триасовых и юрско-меловых коренных источников лишены признаков гипергенной коррозии, слабо окатаны и характеризуются сокращением парагенетического разнообразия, сужением интервала по хромистости и отсутствием или очень низким содержанием гранатов алмазной ассоциации.*

## **6. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВОЗРАСТА КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ИМК ИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ**

### **6.1. Муно-Мархинское междуречье (Центральная часть Сибирской платформы).**

#### ***Физиографические особенности ИМК Муно-Мархинского междуречья.***

Индикаторные минералы кимберлитов в ореолах рассеяния Верхнемунского поля представлены преимущественно пиропом и пикроильменитом, в гораздо меньших количествах присутствуют другие минералы-спутники алмаза (хромит, оливин, хормдиопсид и др.). В верхнем течении преобладает пироп, в среднем – пикроильменит.

Степень механического износа пиропов варьирует от очень слабой, без видимых признаков механического износа, до средней, в редких случаях сильной.

Во всех пробах преобладают гранаты со слабой степенью механического износа и без видимых признаков износа (рис 6.1.1 А) (приложение 2). Среди них встречаются овальные зерна со следами оплавления (рис 6.1.1 Б).

Средняя степень механического износа является признаком переотложенного характера пиропов (рис 6.1.1 В).

Пиропы со следами сильного механического износа, встречающиеся крайне редко, указывают на прибрежно-морские условия формирования ассоциации и свидетельствуют о переотложении из древних коллекторов (рис 6.1.1 Г).

На некоторых гранатах из изучаемых проб обнаружены следы растворения по кубоидному и дислокационному типам гипергенной коррозии (рис 6.1.2 А-В). Гипергенная коррозия проявляется на пиробах в различной степени. Встречаются некорродированные зерна со следами механического износа, слабокорродированные со следами докоррозионного износа, зерна со средней степенью коррозии, когда сохраняется первоначальная форма, но поверхность полностью покрыта каплевидным рельефом, и хорошо оформленные кубоиды (рис 6.1.2 Г, Д).

В большинстве случаев на коррозионный рельеф накладываются следы послекоррозионного механического износа, связанного с послекоровыми седиментологическими событиями (переотложение во все более молодые осадки) (рис. 6.1.2 Е).

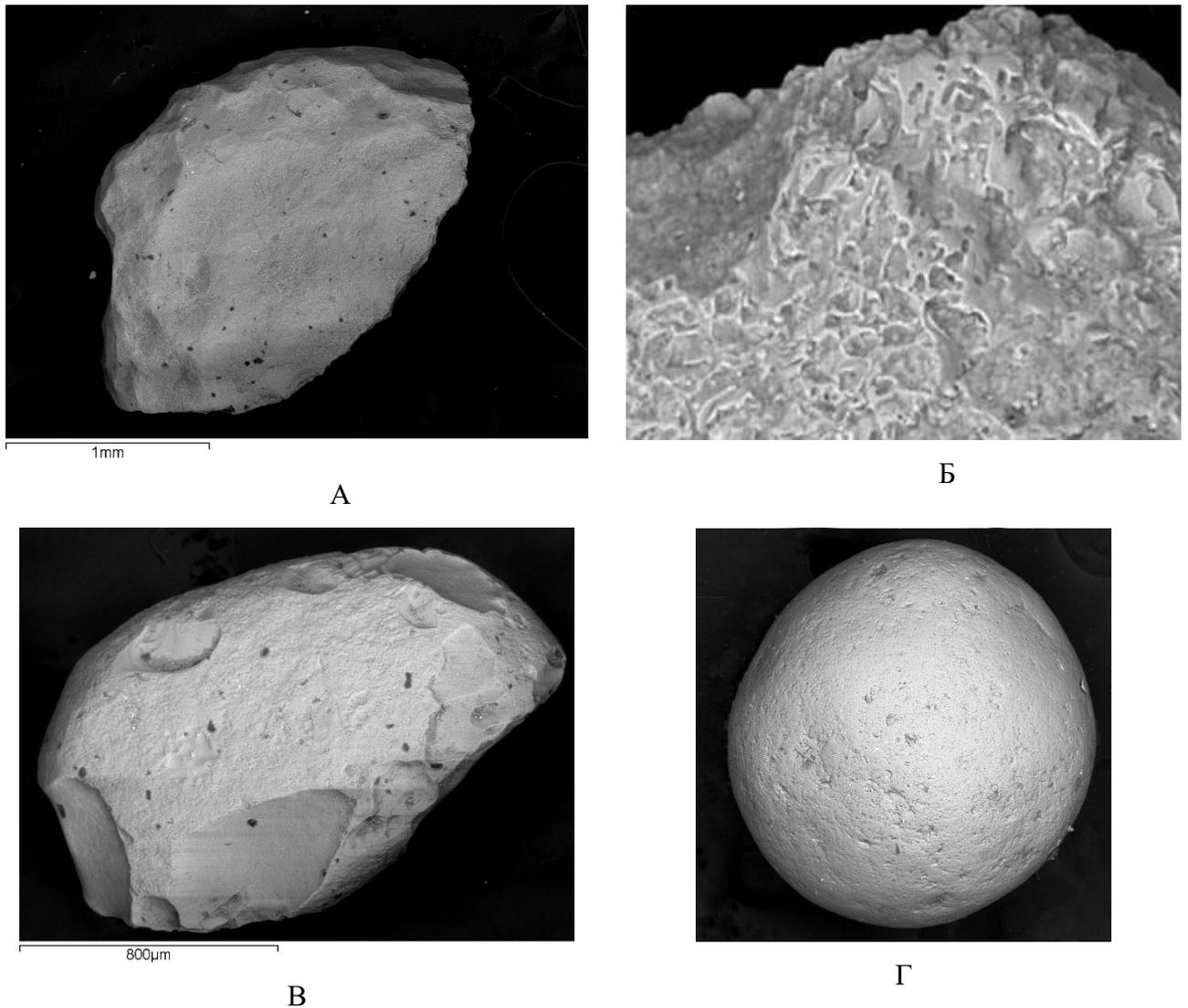
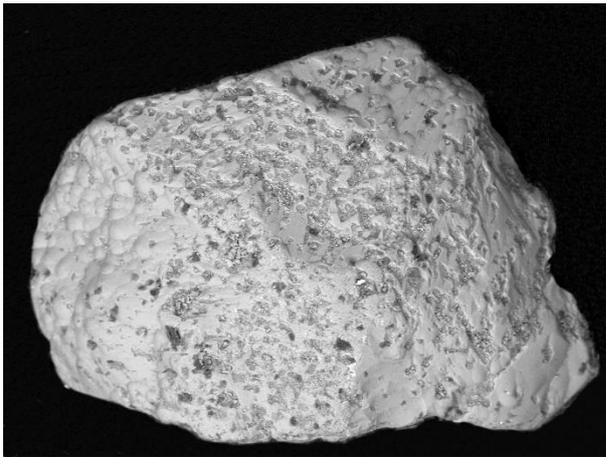
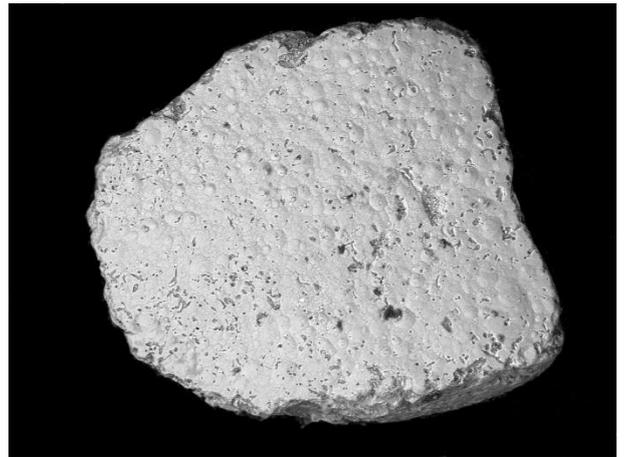


Рис. 6.1.1. Морфология пиропов Муно-Мархинского междуречья. А - слабый механический износ, Б - формы оплавления пиропов, В – механический износ средней степени, Г – максимальная степень механического износа.

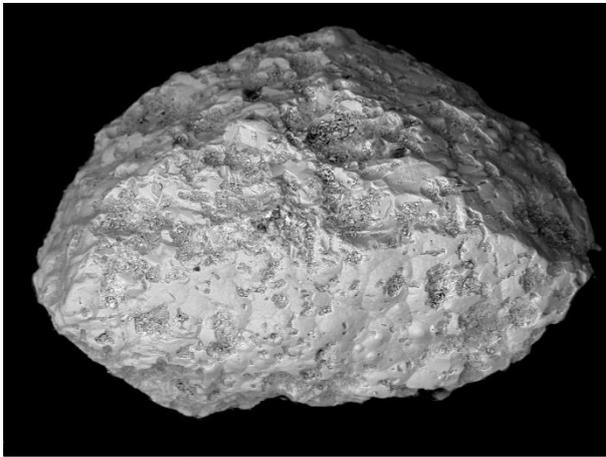
Таким образом, на основании признаков «древности», таких, как гипергенная коррозия, связанная со среднепалеозойской корой выветривания, докоровый и послекоровый механический износ можно предположить, что данные минералы переотложены из более древних отложений (средне- и верхнепалеозойских), развитых ранее на данной территории, но полностью размытых к настоящему времени.



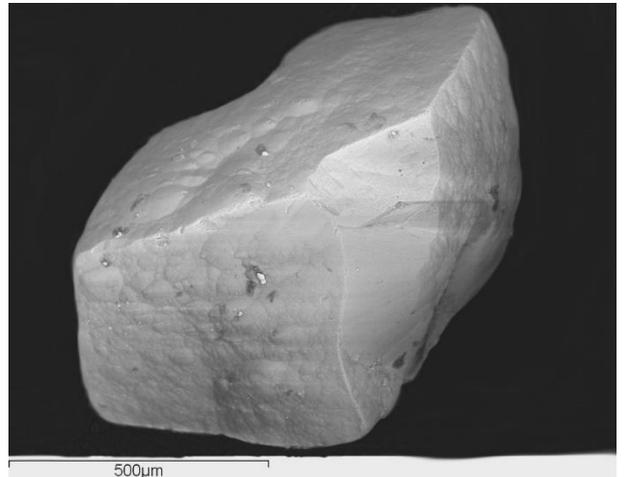
А



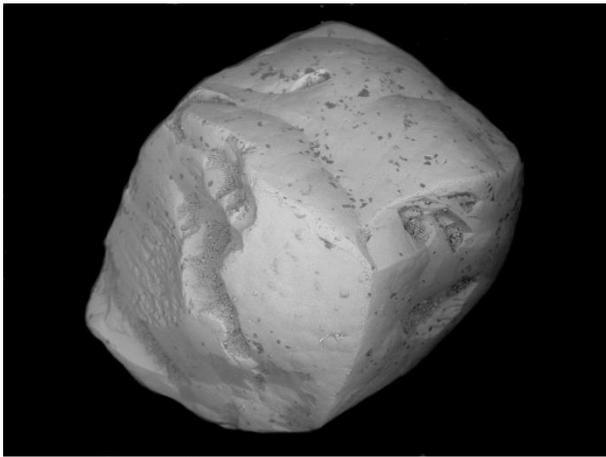
Б



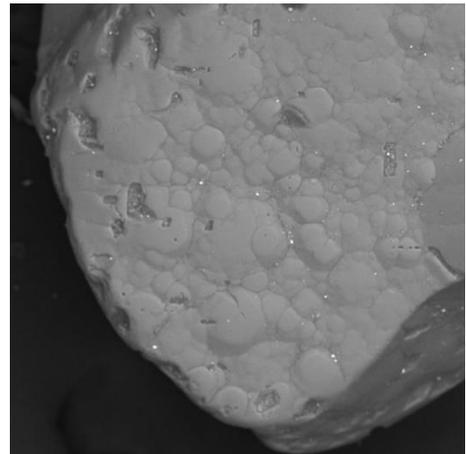
В



Г



Д



Е

Рис. 6.1.2. Гипергенные изменения пиропов Муно-Мархинского междуречья. А, Б, В – сочетание следов растворения по кубоидному и дислокационному типам, Г, Д – кубоиды пиропов, Е – второй этап механического износа, развитый по гипергенной поверхности.

### Пикроильмениты.

Степень механического износа пикроильменитов варьирует от слабой до максимальной с формированием псевдогексагональных табличек, которые являются устойчивой формой истирания пикроильменита (рис. 6.1.3. А-Е) (приложение 2).

Среди зерен пикроильменита большинство среднеокатанные. Это обусловлено пониженной в сравнении с пиропом абразивной устойчивости [Афанасьев и др., 2010]

По характеру внешней морфологии выделяются два типа пикроильменитов: с микропирамидальным рельефом (рис.6.1.3. А) и без такового.

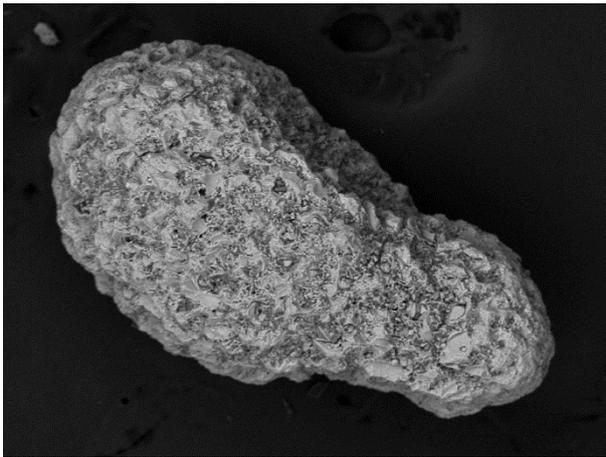
Стоит отметить, что в кимберлитовых трубках Верхнемунского поля пикроильменита мало, тогда как в ореолах он, как правило, содержится в повышенном количестве, в некоторых пробах доминирует, поэтому большинство зерен пикроильменита относятся к переотложенным.

### Оливин.

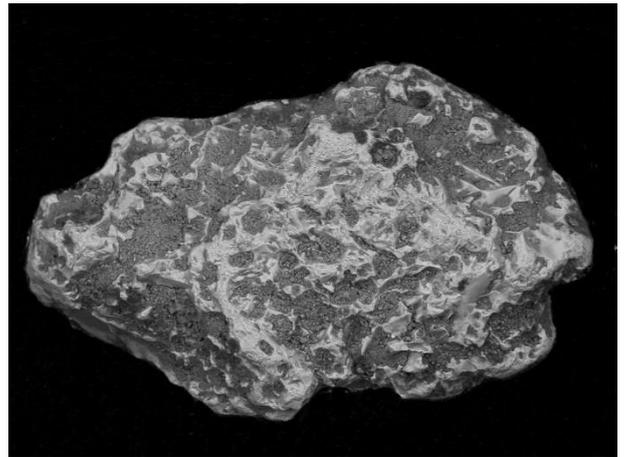
Изучение оливинов с точки зрения механического износа показало, что на их зернах из россыпи Аэродромная коса вблизи кимберлитового поля механический износ не фиксируется (рис. 4.4 А), а на оливинах из пробы, взятой в районе впадения р. Эгелинде приблизительно в 150 км от устья реки Улах-Муна видны лишь незначительные потертости на ребрах и вершинах (рис. 4.4 Б).

Отсюда следует, что на расстоянии около 150 км при транспортировке в современном аллювии в условиях активного гидродинамического режима на оливинах появились лишь очень слабые признаки механического износа. Поэтому бессмысленно связывать степень износа минералов с дальностью транспортировки в аллювиальных условиях: как показано В.П. Афанасьевым с соавторами, степень износа зависит не от дальности транспортировки, а от литодинамических условий формирования ореолов [Афанасьев и др., 1984]. Зерна песчаной размерности в аллювиальных платформенных обстановках переносятся практически без износа на любое расстояние, на котором их можно проследить. Это подтверждается экспериментальными данными Ф.Х. Кюнена, показавшего, что потеря массы в среднезернистом кварцевом песке при переносе на 200 тыс. км составит 1 % [Kuenen, 1959].

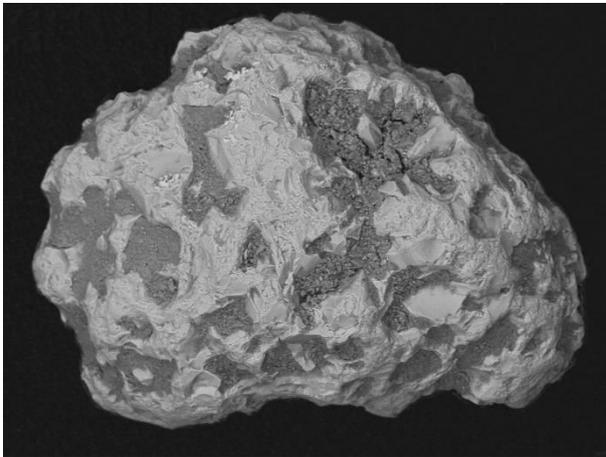
Во всех пробах присутствует смесь минералов с разной седиментологической историей. Можно выделить две ассоциации минералов: одна является результатом сноса с кимберлитов Верхнемунского поля и, возможно, еще не найденных кимберлитовых тел в бассейне реки Муна, другая – переотложенная из древних (юрских) отложений, развитых на данной территории в дочетвертичное время. Минералы первой ассоциации отличаются минимальным износом и отсутствием гипергенной коррозии, в ассоциации устойчиво присутствует оливин, которым



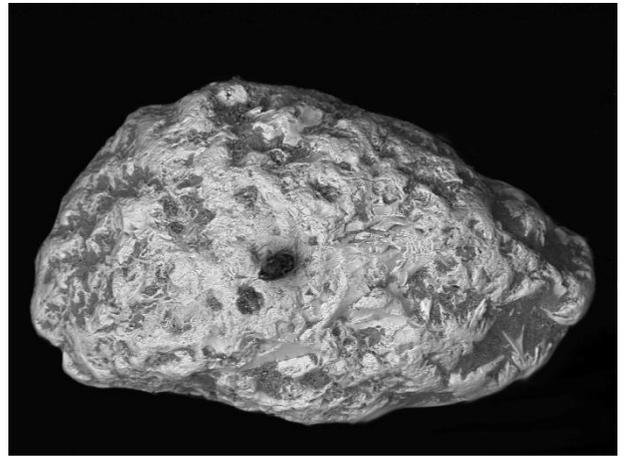
А



Б



В



Г



Д



Е

Рис. 6.1.3. Морфология пикроильменита: А – слабый механический износ, отчетливо выражен микропирамидальный рельеф, Б, В – слабый механический износ, Г, Д – средняя степень механического износа, Е – высокая степень механического износа.

богаты кимберлиты Верхнемунского поля. Минералы второй ассоциации имеют повышенный до максимального износ и признаки гипергенной коррозии, хорошо заметные, в частности, на пиропсах. Оливин отсутствует в этой ассоциации, т.к. он физико-химически неустойчив и был полностью уничтожен в среднепалеозойской коре выветривания.

***Особенности химического состава ИМК Муно-Мархинского междуречья.***

Кимберлитовые тела Верхнемунского поля являются типичными представителями алмазоносных кимберлитов среднепалеозойского возраста, характерных для центральной части Сибирской платформы.

Верхнемунское кимберлитовое поле представлено группой кимберлитовых трубок, расположенных в долине р. Улах-Муна, притока р. Муна. Основными алмазоносными кимберлитовыми телами данного поля являются трубки Поисковая, Заполярная, Зимняя, Комсомольская, Новинка. Самая крупная из них – Заполярная. За счет своих размеров она главным образом формирует состав ассоциации ИМК в русловом аллювии реки Улах-Муна и далее по реке Муна, остальные трубки вносят меньший вклад. Поэтому химический состав и количественные соотношения минералов из тр. Заполярная можно брать за характерные для Верхнемунского поля.

Основными индикаторными минералами кимберлитов, химический состав которых можно использовать для прогнозирования коренных месторождений алмазов данного района являются пиропы.

Как видно на диаграммах  $\text{CaO-Cr}_2\text{O}_3$  [Sobolev et al., 1973], большинство пиропов соответствуют лерцолитовому парагенезису, значительно реже – гарцбургит-дунитовому и верлитовому (рис. 6.1.4, приложение 1).

Содержание гранатов алмазной ассоциации на трубках Верхнемунского поля изменяется от 2,23% на тр. Поисковая до 10,23% на тр. Зимняя, на Аэродромной косе данный показатель составляет 4,55% (Табл. 6.1.).

В экзогенных условиях состав ассоциаций ИМК и отдельных их минеральных видов закономерно эволюционирует. В первую очередь это касается граната – основного минерала для идентификации ореолов вообще и идентификации их потенциальной алмазоносности в частности. Для исследования экзогенной эволюции состава ассоциации пиропов в экзогенных условиях использовано среднее содержание  $\text{CaO}$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  по изученной выборке, что допустимо благодаря близкому к нормальному распределению содержаний данных элементов. В экзогенных условиях вследствие преимущественного разрушения малохромистых зерен гранатов точка среднего состава шлиховых проб по данным элементам смещается вправо вверх

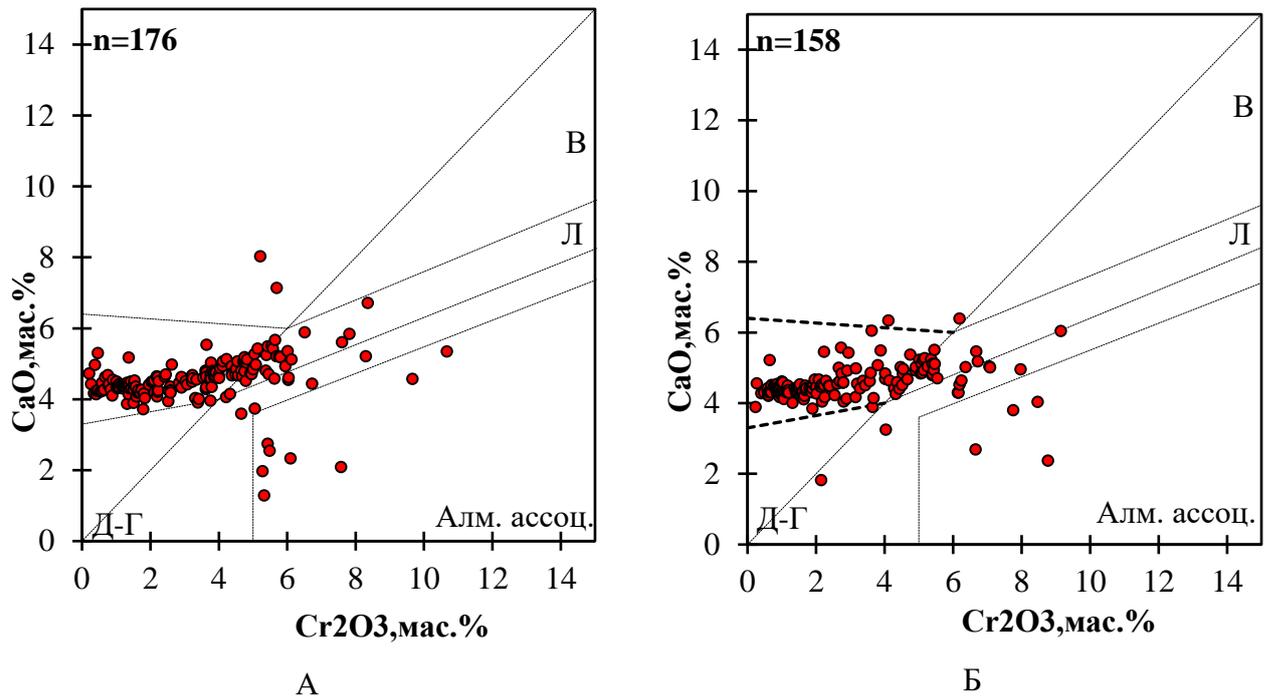


Рис. 6.1.4. Состав гранатов р.Муна. А - коса Аэродромная (2 км от Верхнемунского поля), Б – проба МН-54 (88 км от Верхнемунского поля). Поля по [Sobolev et al., 1973]: В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм. ассоц – гранаты алмазной ассоциации.

вдоль поля лерцолитового парагенезиса, образуя закономерный эволюционный тренд, при этом поперечные или обратные ему направления невозможны [Афанасьев и др., 2010]. Эволюционные тренды по парам объектов «трубка – россыпь» (трубка Мир россыпь - Водораздельные галечники, трубка Интернациональная – россыпь Новинка), а также «плотный кимберлит – кора выветривания трубки им. XXIII съезда КПСС» служат репером, относительно которого на диаграмме CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (мас. %) можно решать задачу идентификации (рис. 6.1.5, табл. 6.2.). Причем последний объект показывает, что основной вклад в изменение состава ассоциации пиропов вносят гипергенные изменения.

Ближайшей к Верхнемунскому полю россыпью является россыпь Аэродромная коса, которая содержит не только минералы прямого сноса с кимберлитового поля, но и переотложенный из мезозойских отложений материал, в том числе корродированные и окатанные пиропы. Точка среднего состава ее пиропов располагается внутри полигона, соединяющего точки средних составов пиропов трубок (рис. 6.1.5), количество гранатов алмазной ассоциации 4,55%. Однако левее россыпи на диаграмме только точка трубки Комсомольская, большинство других и в первую очередь трубка Заполярная лежат в более хромистой области, следовательно, тренды «трубка – россыпь» будут обратными, т.е. с точки

Табл. 6.1. Особенности химического состава пиропов из ореолов бассейна р. Муна ([Афанасьев и др., 2001a] с дополнениями автора).

Трубка, ореол	n	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мас. %				Алм. асс., %
			>5	>7	>10	<2	
<i>Кимберлитовые тела Верхнемунского поля</i>							
Комсомольская	205	203	21	8	2	113	6
Комсомольская	764	605	127	54	8	403	26
Поисковая	873	853	247	88	10	268	19
Новинка	815	790	234	97	10	241	55
Зимняя	478	469	154	69	13	139	48
Заполярная	2517	2428	762	272	29	855	187
<i>Вернее течение р. Муна, русло</i>							
Аэродромная коса	184	176	38	7	1	68	8
<i>Притоки в верхнем течении р. Муна</i>							
р. Алын-Хос-Тарюттээх	28	11	2	1	0	20	0
р. Хос-Тарюттээх	73	36	7	2	2	51	2
р. Сырдах-Юрях MN-735	57	8	1	1	1	52	0
р. Сырдах-Юрях MN-734	44	19	5	1	0	26	2
р. Сырдах-Юрях MN-736	113	65	25	10	0	57	3
р. Токуе-Юрях	85	39	12	4	0	60	1
<i>Притоки в среднем течении р. Муна</i>							
р. Севернэй M546/1	20	13	2	0	0	11	0
р. Севернэй M753	65	40	7	2	0	35	0
р. Севернэй M755	236	166	55	22	4	82	5
р. Севернэй MN-546	33	15	5	5	0	24	2

зрения экзогенной эволюции запрещенными, из них «не выводится» состав ассоциации пиропов россыпи Аэродромная коса. Из этого следует, что в россыпи имеется существенная примесь чуждых полю пиропов, причем это главным образом переотложенные пиропы. О дополнительной подпитке свидетельствует и появление большого количества окатанного пикроильменита, который, как отмечалось, не характерен в большом количестве для

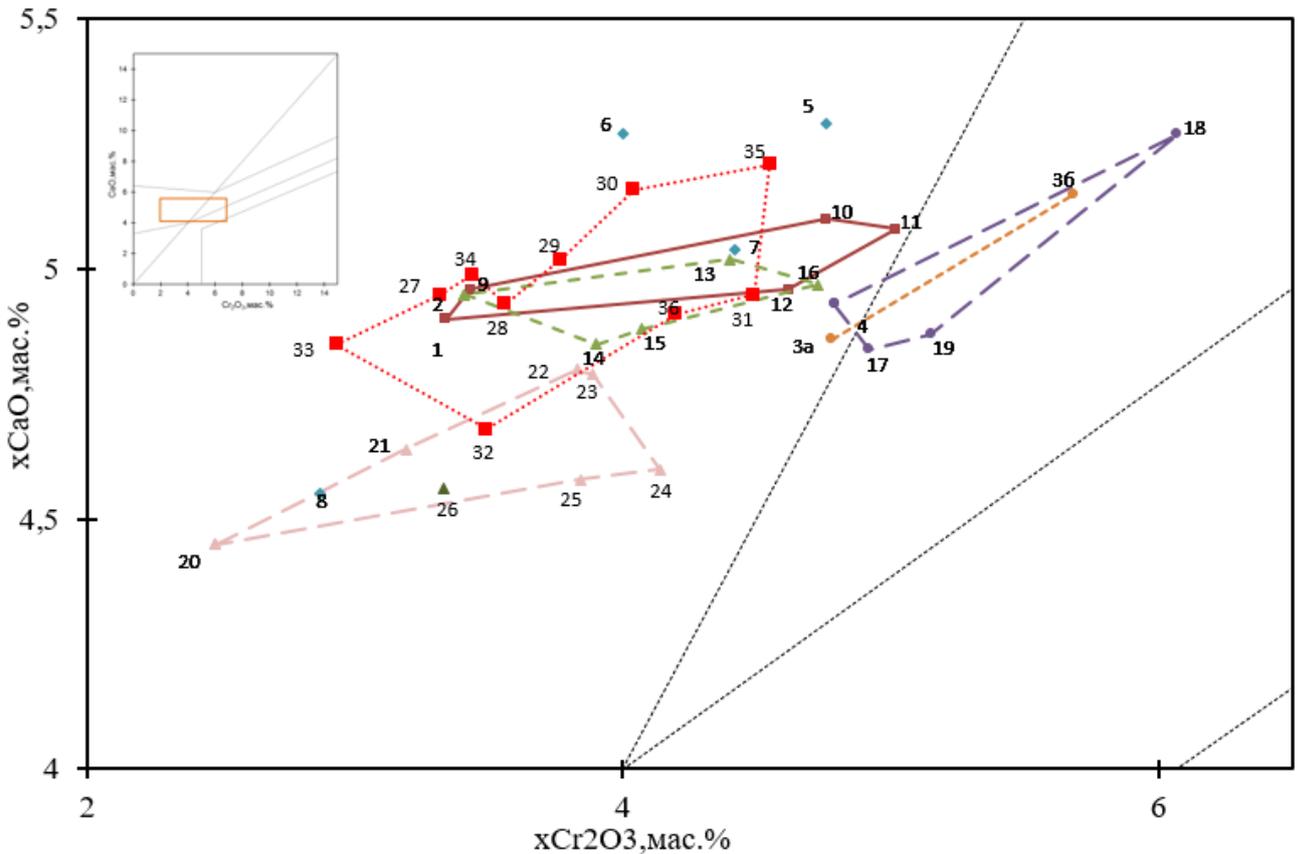


Рис. 6.1.5. Изменение составов ассоциаций гранатов из кимберлитовых трубок и ореолов рассеяния ИМК Верхнемунского и Мало-Ботубинского полей в экзогенных условиях ([Афанасьев и др., 2001a] с дополнениями автора). См. Таб. 6.2.

Верхнемунского поля. При добавлении наших данных по притокам реки Муна ближе к ее среднему течению, были получены следующие результаты (табл.6.2.). Точки среднего состава ассоциаций их пиропов лежат в существенно более кальциевой области (см. рис. 6.1.5) и не выводятся из состава ассоциаций пиропов трубок. К тому же на расстоянии 120-150 км от трубок в русловом аллювии реки Муна остается не более 10% минералов прямого сноса (судя по количеству оливинов на единицу объема проб), остальные минералы происходят из местных коренных источников, а на боковых притоках влияние Верхнемунского материала и вовсе проблематично. Эти источники в соответствии с комплексом минералогических критериев алмазности [Sobolev et al., 1973] алмазносны, а судя по наличию признаков гипергенной коррозии, связанной с позднедевонской корой выветривания, происходят из среднепалеозойских кимберлитов.

Таблица 6.2. Средние содержания CaO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в кимберлитовых трубках и ореолах рассеяния ИМК Верхнемунского и Мало-Ботубинского полей ([Афанасьев и др., 2001а] с дополнениями автора).

№	Трубка, ореол	n	x Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мас.%	x CaO, мас.%
<i>Мало-Ботубинский район</i>				
1	Мир	2464	3,34	4,9
2	Таежная	310	3,41	4,95
3а	им. XXIII съезда КПСС, плотный кимберлит,	310	4,78	4,86
3б	То же, кора выветривания,	236	5,68	5,15
4	Интернациональная	526	4,79	4,93
5	Дачная	172	4,76	5,29
6	Спутник	216	4	5,27
7	Амакинская	339	4,42	5,04
8	Ан-21	145	2,87	4,55
9	Лог Хабардина	219	3,43	4,96
10	Водораздельные Галечники	305	4,76	5,1
11	Тымтайдахский, 553/24	197	5,02	5,08
12	Усть-Иреляхский	465	4,62	4,96
13	Куранахский	51	4,4	5,02
14	Ан-4ц/6	141	3,9	4,85
15	Куранахский	214	4,07	4,88
16	Келтыкенский	108	4,73	4,97
17	Новинка	210	4,92	4,84
18	Куранахский	77	6,07	5,27
19	Маччобинский	177	5,15	4,87
<i>Верхнемунский район</i>				
20	Комсомольская	203	2,48	4,45
21	Комсомольская	605	3,19	4,64
22	Поисковая	853	3,83	4,8
23	Новинка	790	3,89	4,79
24	Зимняя	469	4,14	4,6
25	Заполярная	2428	3,84	4,58

Таблица 6.2. Продолжение.

26	Аэродромная коса	176	3,33	4,56
27	р. Алын-Хос-Тарюутгээх	11	3,32	4,95
28	р. Хос-Тарюутгээх	36	3,56	4,93
29	р. Сырдах-Юрях MN-735	8	3,77	5,02
30	р. Сырдах-Юрях MN-734	19	4,04	5,16
31	р. Сырдах-Юрях MN-736	65	4,49	4,95
32	р. Токуе-Юрях	39	3,49	4,68
<i>Среднее течение р. Муна</i>				
33	р. Севернэй M546/1	13	2,93	4,85
34	р. Севернэй M753	40	3,44	4,99
35	р. Севернэй M755	166	4,55	5,21
36	р. Севернэй MN-546	15	4,2	4,91

Примечание. тр. Мир и ее ореол: 1–9–10–11–12; тр. Таежная и ее ореол: 2–13–16–15–14; тр. Интернациональная и ее ореол: 4–18–19–17; тр. им. XXIII съезда КПСС – плотный кимберлит и кора выветривания: 3а–3б, кимберлитовые трубки Верхнемунского поля: 20–25, притоки р. Муна: 27–36.

Таким образом, характер ассоциаций пиропов вблизи среднего течения реки Муна указывает на существование неизвестных алмазоносных кимберлитовых тел среднепалеозойского возраста, представляющих собой весьма перспективный объект для поиска.

#### ***История развития ореолов ИМК Муно-Мархинского междуречья.***

На основании морфологических особенностей изученных пиропов, их можно разделить на несколько групп, согласно типоморфным особенностям ИМК, позволяющим реконструировать историю и условия формирования ореолов.

Предельно окатанные пиропы без признаков гипергенной коррозии свидетельствуют о существовании в истории пиропов этапа формирования ореолов в условиях трансгрессии, датированной поздним девоном [Афанасьев, Зинчук, 1999].

Кубоиды пиропы (крайние формы гипергенного растворения пиропов, на которых не сохранилось никаких морфологических признаков предшествующих этапов морфогенеза) указывают на высокую степень физико-химических изменений, которые достижимы только в среднепалеозойской коре выветривания [Харькив, Волотовский, 1968]. Стоит отметить, что в шлиховых пробах из ореолов бассейна р. Муна присутствуют все промежуточные формы пиропов от крайне изношенных без гипергенной коррозии, через слабокорродированные, у

которых предшествующий этап износа диагностируется еще определенно, далее через среднюю степень гипергенной коррозии, когда зерно имеет еще овальную форму, но механогенный рельеф уничтожен и просматриваются элементы кубоида, до хорошо оформленного кубоида.

Пиропы без видимых следов механического износа свидетельствуют об этапе современного размыва кимберлитов, а их ассоциация с переотложенными минералами – о существовании на данной территории древних коллекторов, полностью размывтых к настоящему времени.

Несмотря на различия в морфологии пиропов из разных групп, они представляют собой единую ассоциацию, эволюционировавшую на протяжении длительного промежутка времени на данной территории. В развитии данной ассоциации можно выделить несколько этапов:

1) среднего и сильного механического износа, указывающего на прибрежно-морские трансгрессивные и регрессивные условия формирования ассоциации [Афанасьев, Зинчук, 1999];

2) гипергенного растворения после формирования прибрежно-морского ореола; различия минералов в степени гипергенной коррозии связаны, по всей видимости, с различным их положением в профиле коры выветривания [Харькив, Волотовский, 1968];

3) переотложения в континентальные отложения с добавлением свежих минералов из эродируемых трубок, в процессе чего пиропы с разными морфологическими признаками перемешались.

По морфологическим особенностям отдельных зерен можно восстановить порядок этапов морфогенеза в хронологической последовательности с указанием геологических условий, способных повлиять на наличие той или иной типоморфной особенности.

В среднепалеозойское время в условиях приподнятой суши происходит формирование кимберлитовых тел в центральной части Якутской алмазоносной провинции [Агашев и др., 2004]. Позднее, в связи с тем, что на границе франа-фамена имела место регрессия Мирового океана, начинается активная эрозия кимберлитовых тел и формирование ореолов континентального типа, что выразилось в слабом износе ИМК. Последовавшая за этим трансгрессия привела к формированию прибрежно-морских коллекторов, в которых пиропы в значительной мере окатались. Обнажение пенепленизированной суши после регрессии бассейна в условиях тропического климата способствовало развитию кор выветривания и, как следствие, формированию на пиробазах коррозионного рельефа, который частично или полностью уничтожает следы докорового механического износа. В раннем карбоне после среднепалеозойского корообразования произошло новое наступление моря на пенепленизированную после девонской трансгрессии сушу, поскольку встречаются минералы,

на которых коррозионный рельеф сочетается со следами послекорового механического износа. В верхнепалеозойское и мезозойское время прошли как минимум два этапа переотложения ИМК: из среднепалеозойских коллекторов в верхнепалеозойские и из верхнепалеозойских в мезозойские (юрские); далее детально описать переотложение не представляется возможным из-за отсутствия коллекторов в настоящее время. В кайнозойское время Сибирская платформа сохраняет высокое состояние, это обуславливает активное развитие эрозионных процессов и начало нового этапа денудации кимберлитовых тел Верхнемунского поля с поступлением «свежих» минералов-спутников в современную гидросеть (история реконструирована на основе [Афанасьев и др., 2013]).

В настоящее время индикаторные минералы находятся преимущественно в четвертичных аллювиальных отложениях, ранее существовавшие среднепалеозойские, верхнепалеозойские коллекторы размыты полностью, мезозойский коллектор сохранился фрагментарно на водоразделах в виде терригенных юрских отложений. Таким образом период от среднего палеозоя до юры не отмечен какими-либо отложениями.

### **6.2. Анабаро-Уджинское междуречье (северо-восток Сибирской платформы).**

В середине 60-х годов прошлого века были открыты богатейшие аллювиальные россыпи алмазов на северо-востоке Сибирской платформы по правобережью реки Анабар, а позднее и в других местах. В связи с этим были развернуты широкомасштабные поиски коренных месторождений алмазов, позволившие найти более 700 кимберлитовых тел. Подавляющее большинство найденных коренных источников принадлежат юрско-меловой эпохе кимберлитового магматизма, значительно реже встречаются триасовые кимберлиты и лишь единичные трубки имеют среднепалеозойский возраст. В 2017-2018 годах сотрудниками нашей лаборатории были проведены полевые работы (в 2018 году – с участием автора) при поддержке ОАО «Алмазы Анабара» по рекам Уджа, Чымара и Булгунняхтах. Исходя из ранее известных данных о соотношении кимберлитов разных эпох, в современных аллювиальных отложениях предполагалась смесь разновозрастных кимберлитовых минералов, однако в изученных нами шлиховых пробах (рис. 6.2.1.) резко преобладают ИМК, указывающие на среднепалеозойский возраст коренных источников. На большинстве гранатов присутствуют следы гипергенеза и докорового износа разной, преимущественно высокой, степени. Еще одной предпосылкой интереса к правобережью реки Анабар послужили алмазы из россыпи ручья Курунг-Юрях – притока реки Маят. Эти алмазы представлены прекрасно оформленными октаэдрами и совершенно не соответствовали «северной ассоциации» алмазов, распространенной фоном по всему северо-востоку Сибирской платформы, зато они полностью соответствуют алмазам из

промышленных кимберлитов среднепалеозойского возраста ([Афанасьев и др., 2019a] в соавторстве с диссертантом).

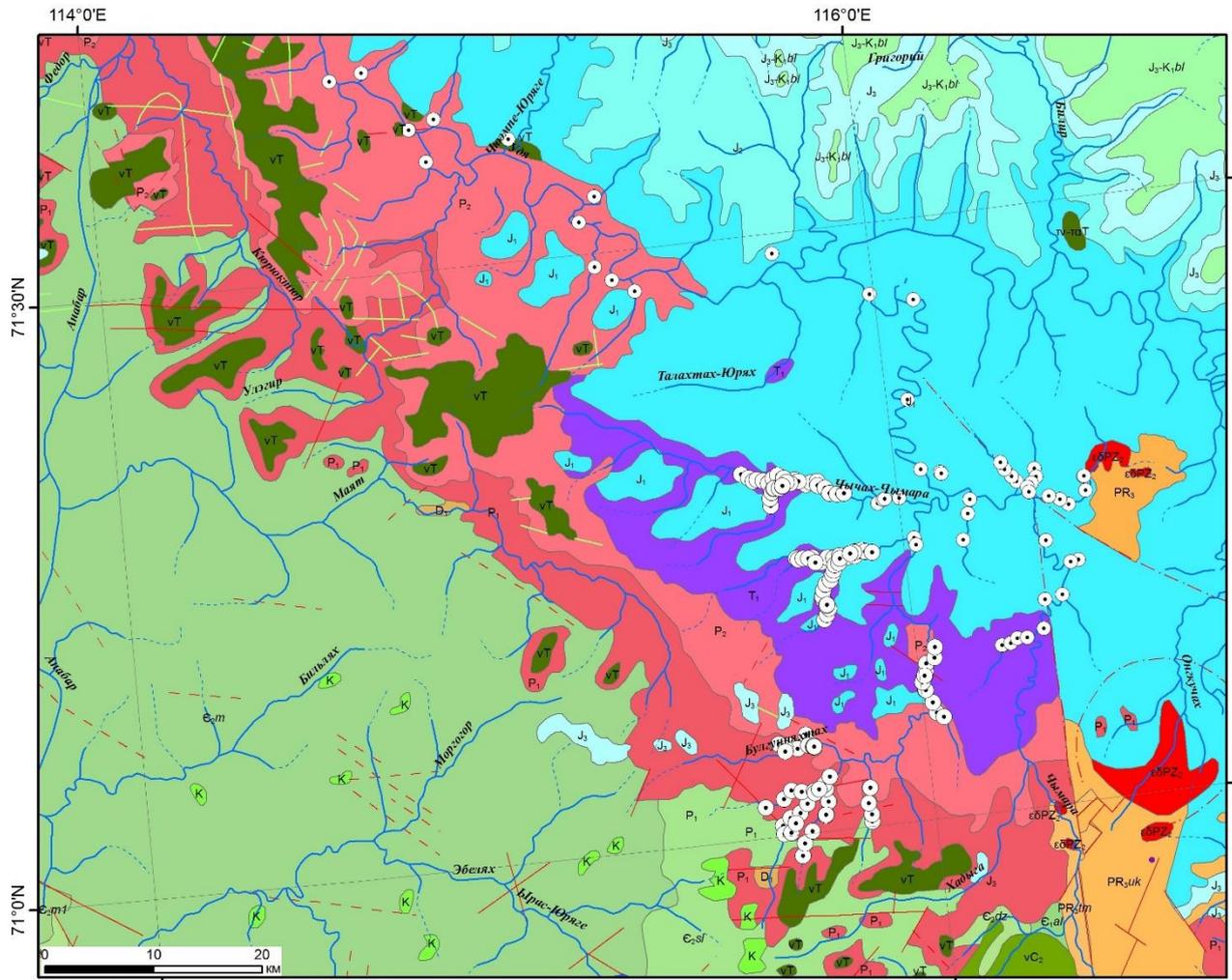


Рис. 6.2.1. Геологическая карта района работ с точками отбора шлиховых проб [Афанасьев и др., 2019].

### ***Морфологические особенности индикаторных минералов кимберлитов***

Индикаторные минералы изученной площади представлены пиропом и пикроильменитом. Хромиты, найденные в небольшом количестве, относятся к так называемому «курунгскому» типу, т.е. происходят не из кимберлитов, а из неизвестных пород ультраосновного состава; такие хромиты распространены по всей Сибирской платформе [Афанасьев и др., 2000].

#### ***Пироп***

Всего в пробах обнаружено более 5000 пиропов размером от  $-0,5\text{мм}$  до  $-4+2\text{мм}$ , преобладающий цвет – фиолетовый, меньше зерен оранжевого и красного цвета.

Большинство зерен пиропов имеют признаки гипергенной коррозии (приложение 2). Часто она практически не видна в бинокляр, но применение сканирующего электронного микроскопа

позволяет увидеть слабые ее проявления. Представлен главным образом кубоидный тип коррозии, гораздо реже встречается дислокационный (рис. 6.2.2).

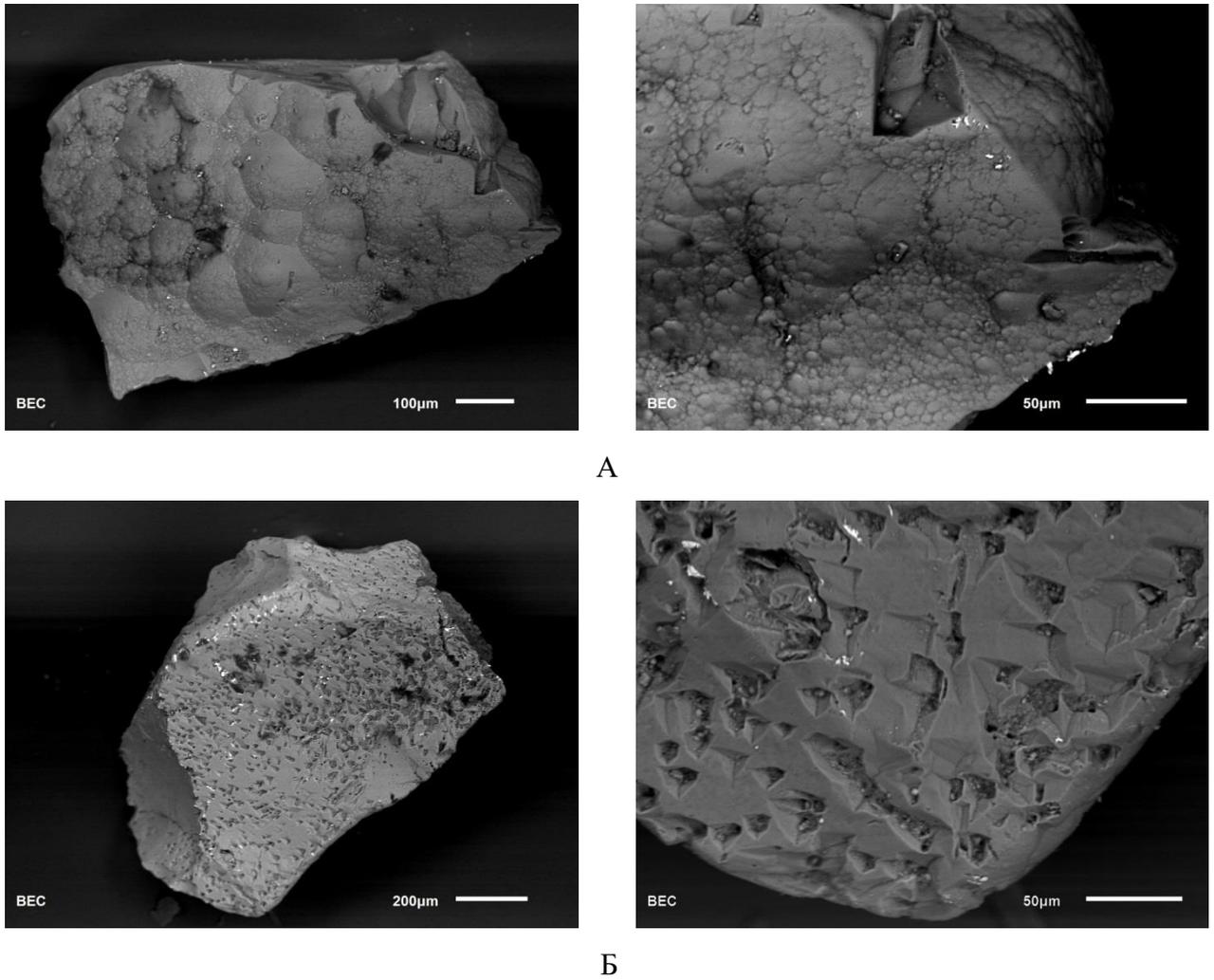


Рис. 6.2.2. Рельеф гипергенного растворения: А – кубоидный, Б – дислокационный.

Как отмечено выше, признаки гипергенной коррозии на ИМК связаны только со среднепалеозойской корой выветривания, поэтому данный признак однозначно указывает на происхождение ИМК из среднепалеозойских кимберлитов. Степень коррозии сильно различается, преобладает слабая или средняя, хорошо развитые кубоиды (устойчивые формы растворения) в изученных пробах встречаются редко (рис. 6.2.3).

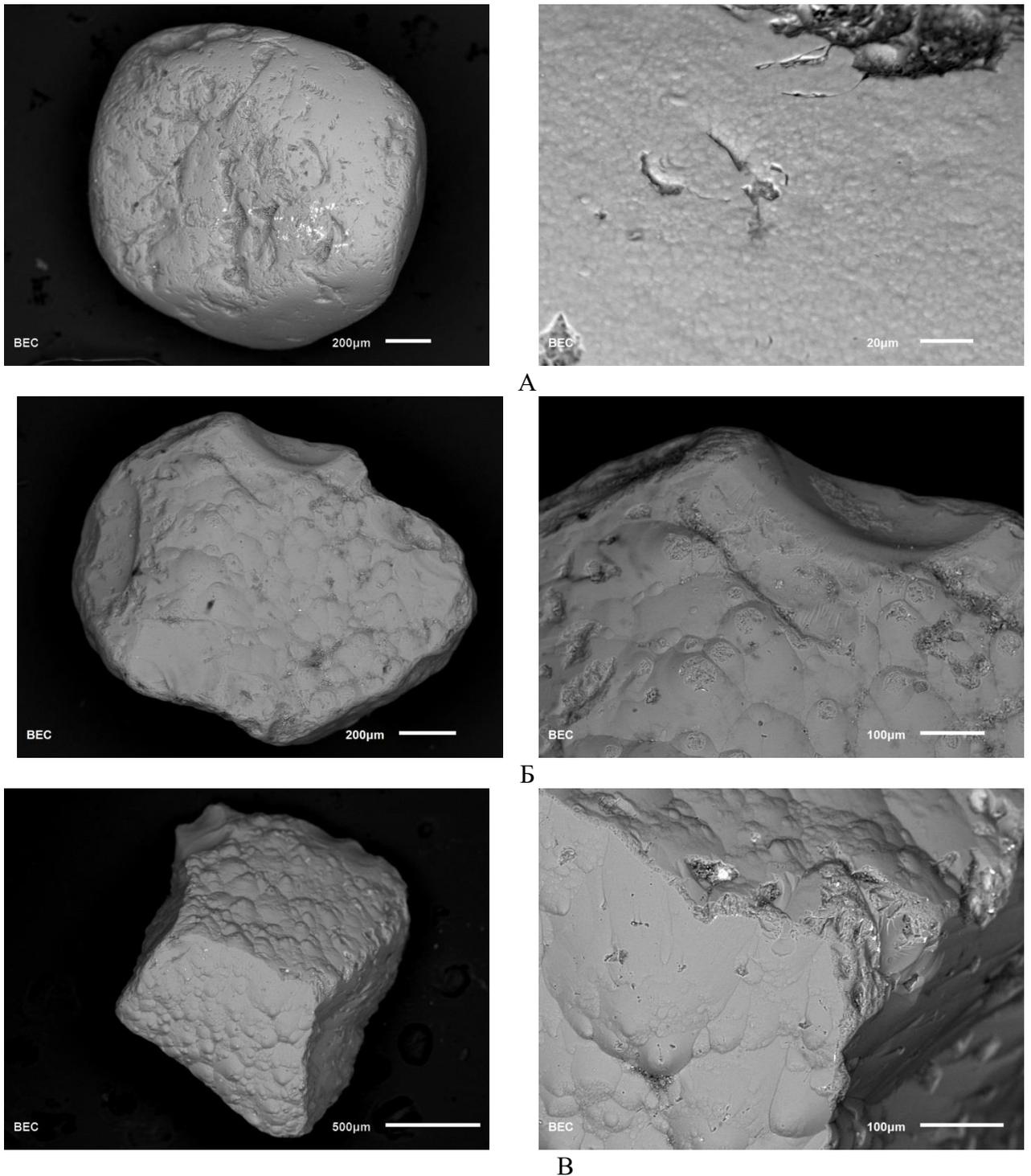


Рис. 6.2.3. Различные степени гипергенной коррозии пироксов: А – Слабая степень, заметная только при применении сканирующего электронного микроскопа, Б – средняя степень, В – кубоид, устойчивая форма растворения.

Но в бассейнах рек Биллях и Эбелях степень гипергенной коррозии пироксов значительно. Практически все пироксы представлены хорошо развитыми кубоидами (рис. 6.2.4).

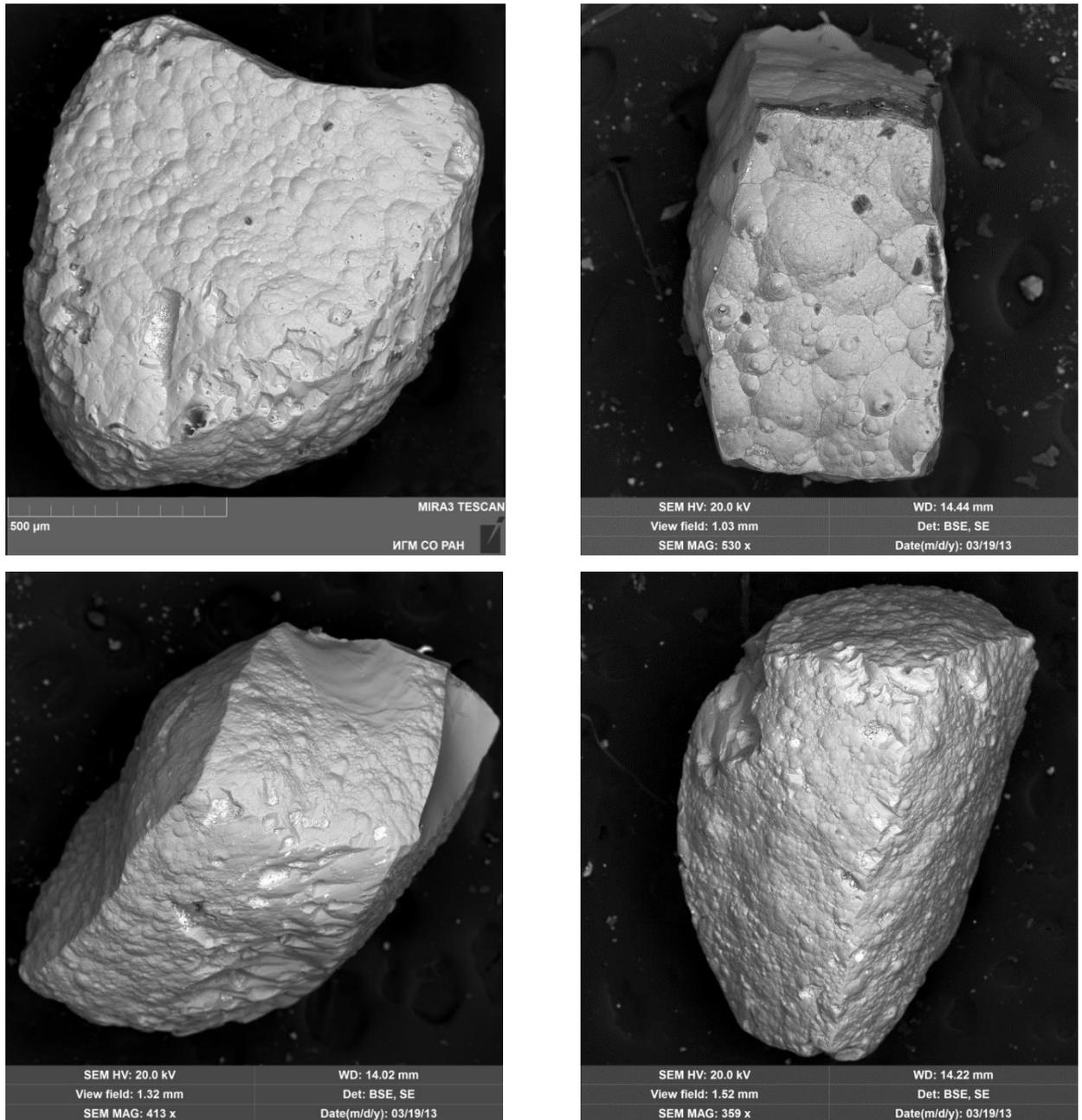
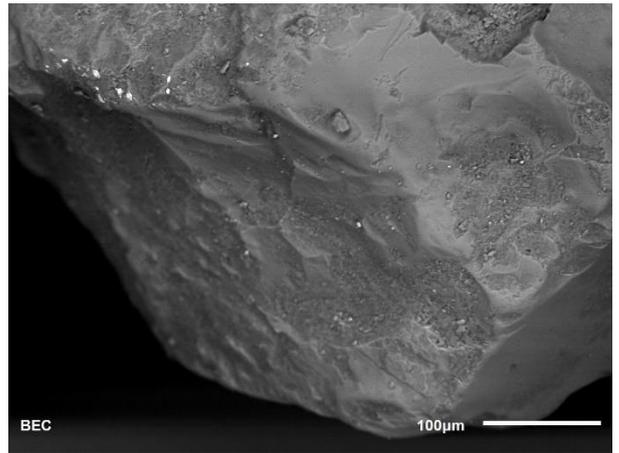
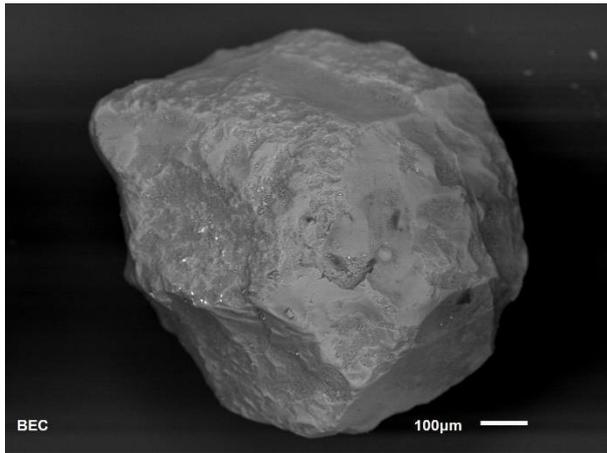
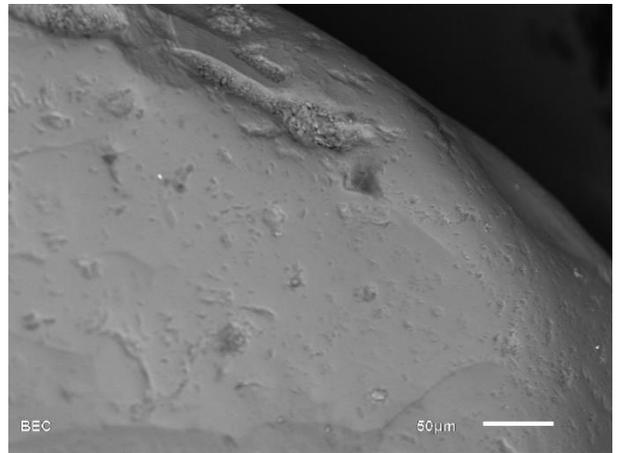
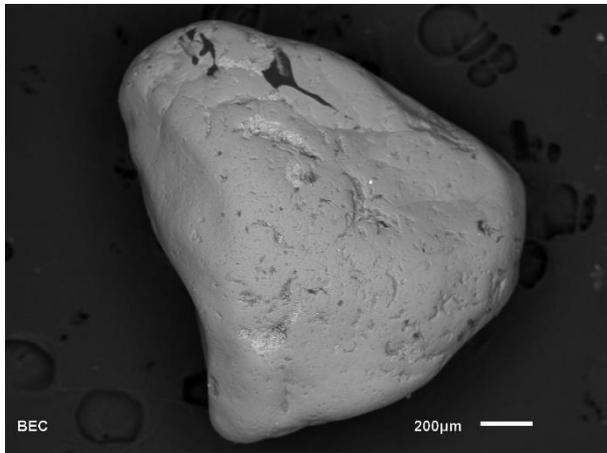


Рис. 6.2.4. Глубоко корродированные пиропы. р. Верхний Биллях.

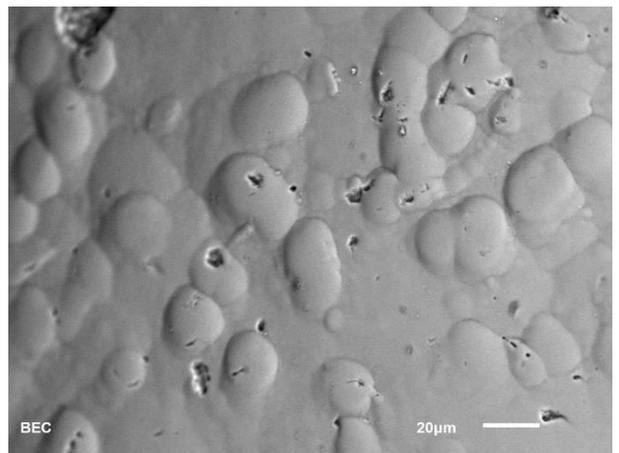
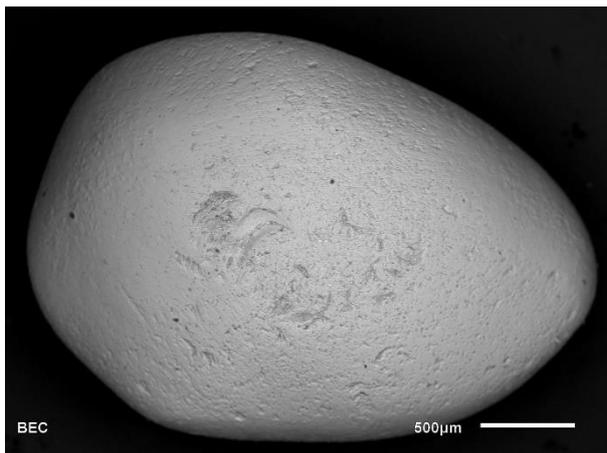
Докоррозионный износ осуществлялся в гидродинамически активной среде в ходе морской трансгрессии, которая прошла по Сибирской платформе в конце фанера накануне формирования среднепалеозойской коры выветривания. Степень докоррозионного износа разная – от слабой до предельной (рис. 6.2.5.), что связано с локальными различиями условий



А



Б



В

Рис. 6.2.5. Механический износ пиропов: А – слабая степень механического износа; Б – средняя степень механического износа; В – предельная степень докоррозийного окатывания, гипергенез очень слабый по механогенной поверхности, по рельефу гипергенного растворения второй этап механического износа – механогенная полировка.

механического износа, в целом характерными для внутриконтинентальных мелководных морей [Афанасьев, Зинчук, 1999].

Трансгрессия оставила после себя абразионный пенеплен, поэтому последующие эпизоды наступления моря имели характер не трансгрессии, а ингрессии, т.е. подтопления суши без активной береговой абразии [Афанасьев и др., 2013]. Ингрессией моря завершался каждый цикл седиментогенеза начиная со среднего карбона. Для ингрессии не характерен сильный износ, зато на твердых минералах типа граната развивается механогенная полировка. Она широко представлена на пиробах изученной площади как одна из основных форм послекоррозионного механического износа (рис. 6.2.5 В, 6.2.6). Но имеются и шероховатые поверхности при общей слабой степени износа.

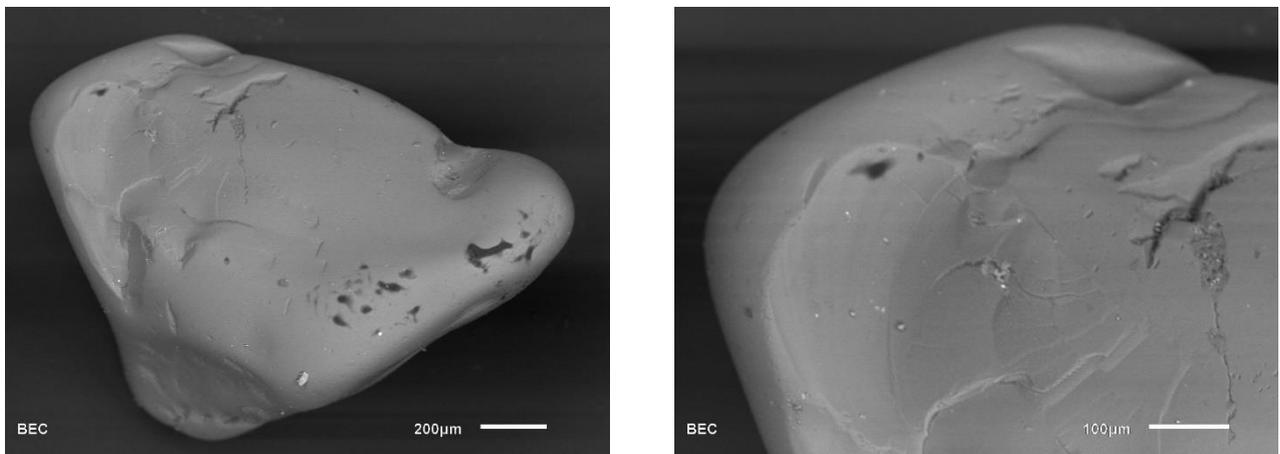


Рис. 6.2.6. Средняя степень первичного окатывания пироба с полировкой на втором этапе износа.

Зерна пиропов, по морфологическим особенностям соответствующие продуктам прямого современного размыва кимберлитов, не обнаружены, все пиропы переотложены из более ранних коллекторов.

#### *Пикроильменит*

По общему количеству зерен пикроильменит на порядок превосходит пироп, что обычно для кимберлитов. Пикроильменит значительно более устойчив к химическому выветриванию, чем пироп, поэтому признаки гипергенеза на нем не заметны, и основным морфогенетическим фактором, характеризующим историю и условия развития ореолов, является механический износ. На рис. 6.2.7, 6.2.8 показаны микрофотографии зерен пикроильменита с разной степенью механического износа. На рис. 6.2.7 А, Б пикроильменит без следов износа и с минимальным

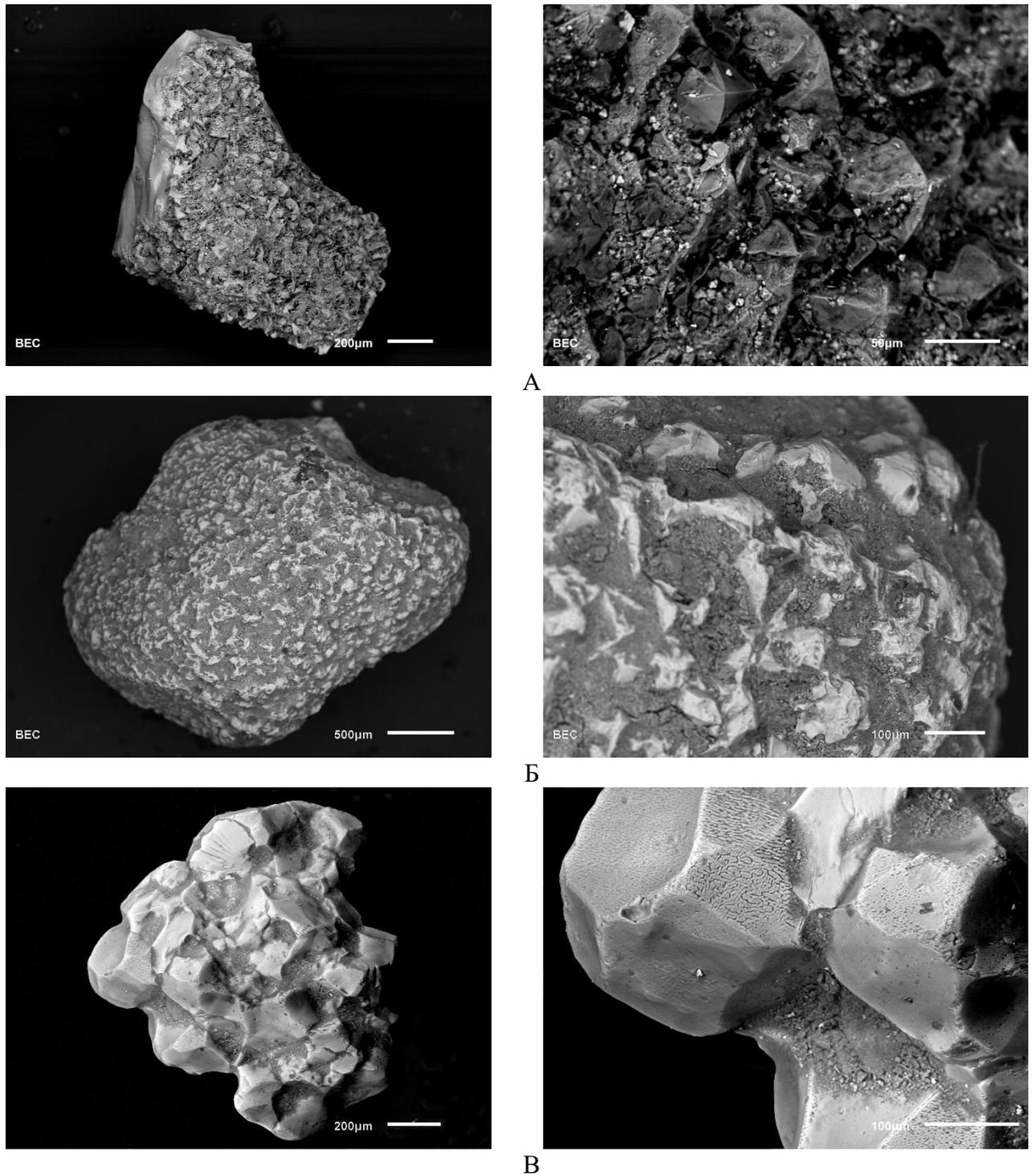


Рис. 6.2.7. Морфология пикроильменита: А – пикроильменит без следов механического износа; Б – пикроильменит с очень слабым износом, с первичным рельефом; В – пикроильменит агрегатного строения.

износом, хорошо выражен типичный микропирамидальный рельеф, формирующийся в постмагматических условиях в кимберлите [Афанасьев и др., 2001а]. Пикроильменит агрегатного строения (рис. 6.2.7 В) - также свидетельство слабого износа. На рис 6.2.8 А, Б – зерна со средним

и максимальным износом, на которых микропирамидальный рельеф не сохраняется. Такой широкий диапазон по степени износа (приложение 2) свидетельствует о переотложенном характере пикроильменитов и сложной истории развития ореолов. Из-за невыраженности гипергенной коррозии не ясно, являются ли слабо окатанные зерна продуктом первичного размыва кимберлитов в девоне, или более поздними поступлениями. Поскольку пикроильменит не твердый минерал, как пироп, на нем не развивается полировка, все механогенные поверхности шероховатые.

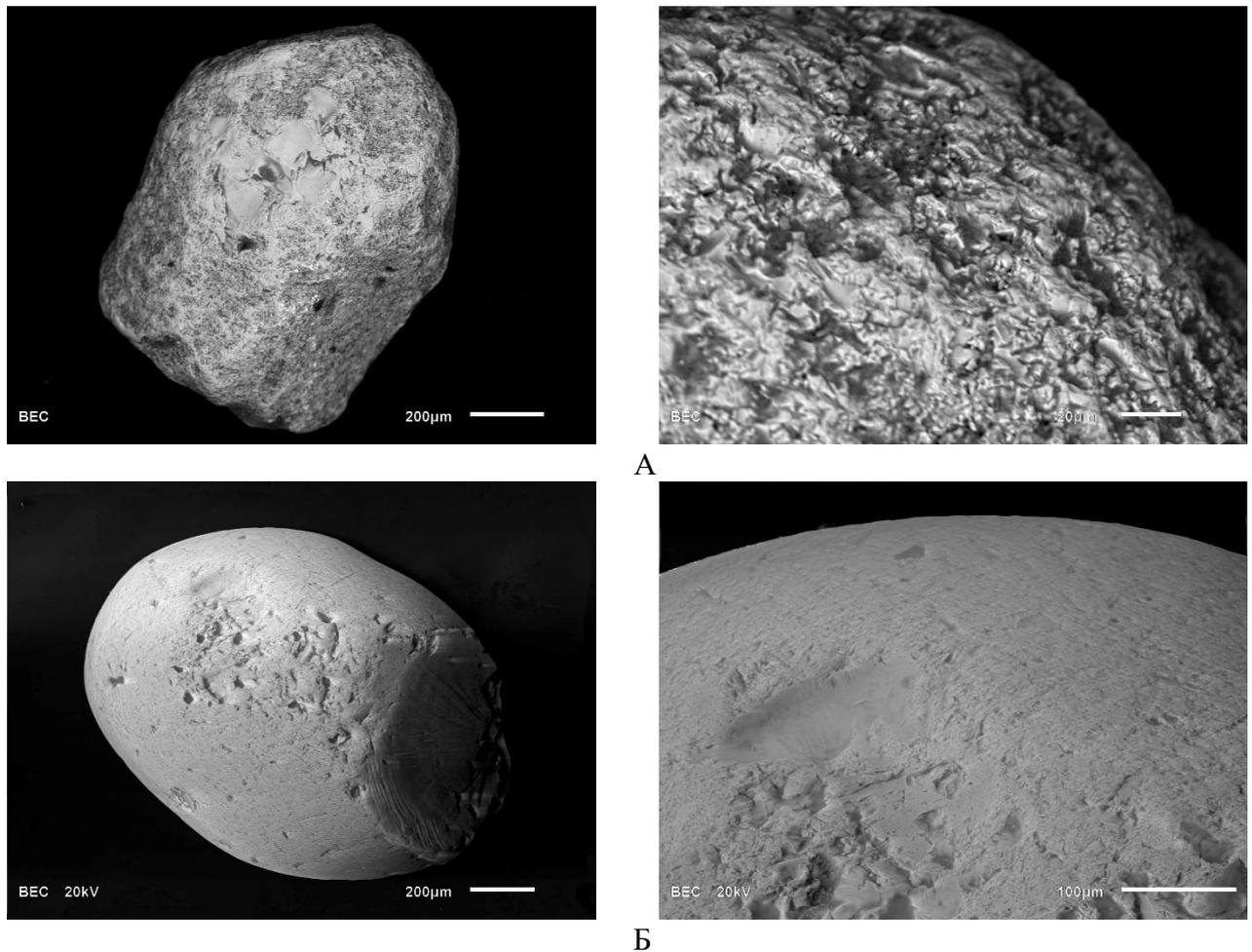


Рис. 6.2.8. Морфологические особенности пикроильменитов: А – пикроильменит со средним износом, первичный рельеф практически уничтожен; Б – предельная степень окатывания пикроильменита.

### *Особенности состава индикаторных минералов кимберлитов*

В общей сложности проанализировано более 5 000 зерен пиропов и пикроильменитов.

### *Пироп*

Пиропы из аллювия по поверхности кембрийских отложений в бассейне реки Маят, а также ранее изученные пиропы по бассейну реки Эбелях, показывают типичное для

среднепалеозойских кимберлитов распределение составов пиропов (рис. 6.2.9). Влияние гранатов из юрских отложений не заметно.

На диаграммах (рис. 6.2.10) хорошо видно, что распределение составов пиропов по всем изученным пробам бассейна р. Уджа тоже соответствует среднепалеозойскому. В небольшом количестве присутствуют гранаты алмазной ассоциации, причем их несколько больше на площади пермских отложений, в особенности в базальном горизонте пермских отложений (см. приложение 1).

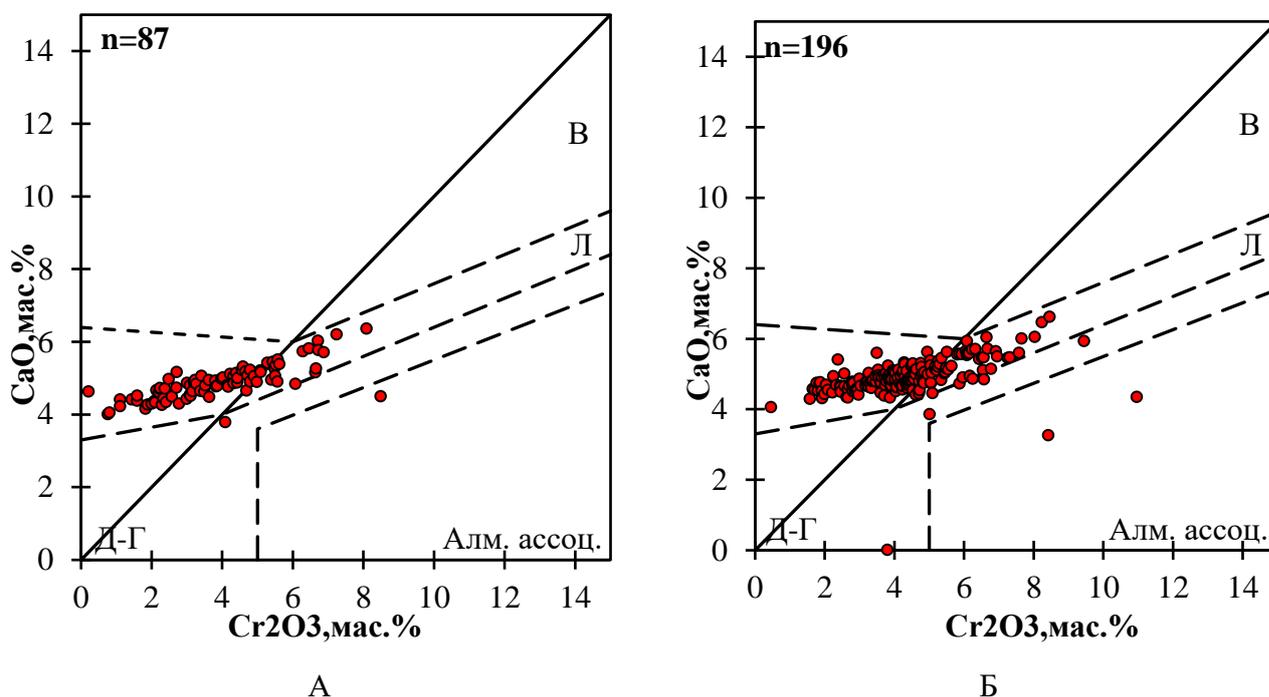


Рис. 6.2.9. Составы гранатов А – р. Маят, Б – Биллях. Поля по [Sobolev et al., 1973]: В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм. ассоц – гранаты алмазной ассоциации.

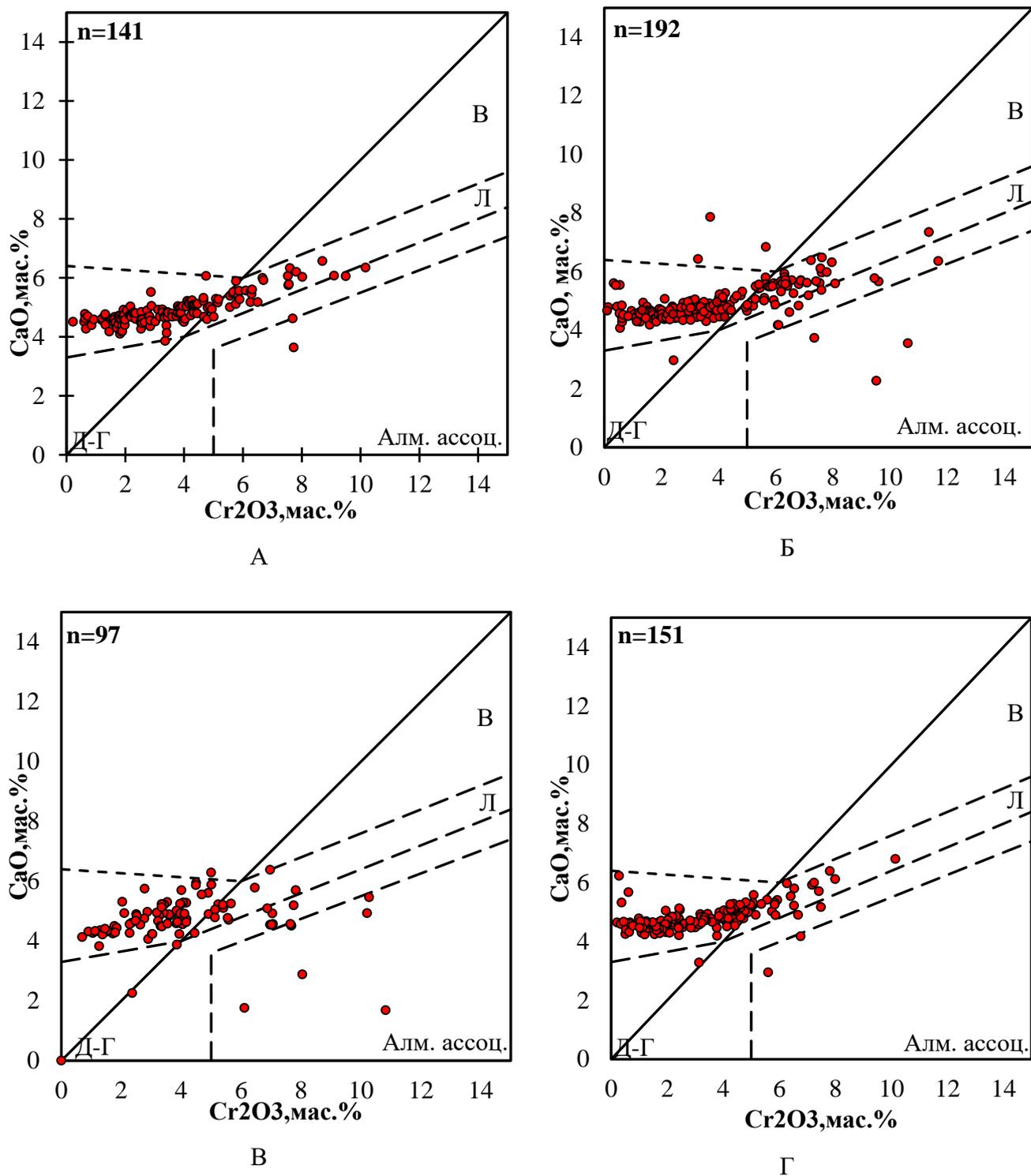


Рис. 6.2.10. Сводные диаграммы составов гранатов из руслового аллювия А – р. Уджа, р. Чычвх-Чымара, В - р. Каменистый (пермские гравелиты), Г – р. Бюк-Юряге (юрские конгломераты). Поля по [Sobolev et al., 1973]: В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм. ассоц. – гранаты алмазной ассоциации.

### *Алмазы*

Всего найдено 179 алмазов. Большинство из них соответствуют по морфологии кимберлитовым, это октаэдры, кристаллы переходной формы, часть додекаэдров (рис. 6.2.11).

На большинстве кимберлитовых алмазов хорошо виден еще один признак происхождения из среднепалеозойских кимберлитов – признаки ожелезнения в коре выветривания, выраженные в коричневых примазках гидроокислов железа на поверхности кристаллов.

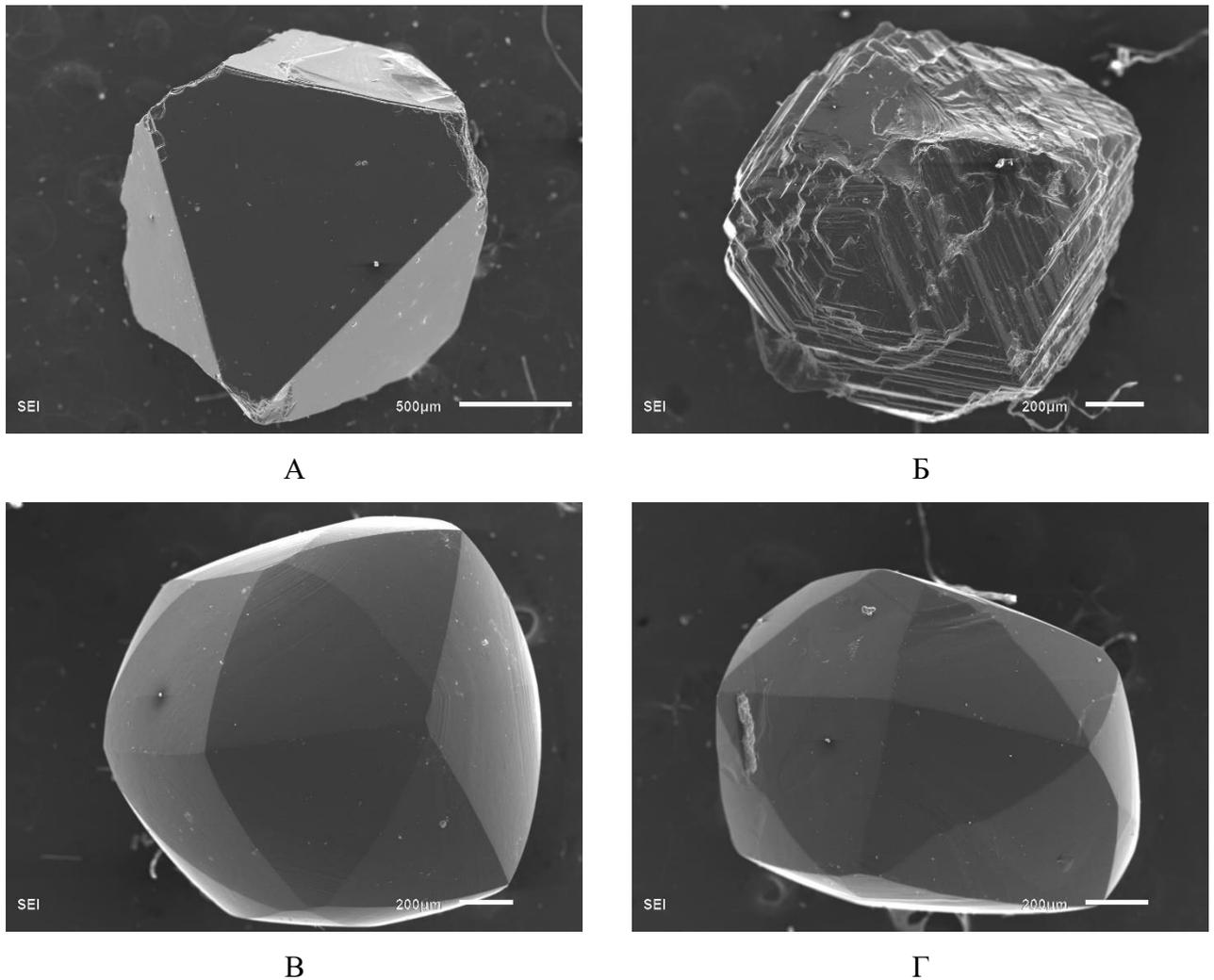


Рис. 6.2.11.: Алмазы Анабаро-Уджинского междуречья. А, Б – кимберлитового типа, В, Г – округлые додекаэдровиды.

Комплекс минералогических критериев оценки возраста коренных источников индикаторных минералов показывает, что основное количество кимберлитовых минералов происходит из среднепалеозойских кимберлитов, о чем свидетельствует наличие гипергенных изменений минералов, различная, в том числе повышенная, степень механического износа минералов, типичное «среднепалеозойское» распределение составов пиропов, присутствие большого количества алмазов кимберлитового типа. В целом шлиховая обстановка аналогична

другим районам распространения среднепалеозойских кимберлитов, поэтому и возраст кимберлитов можно предположить, как и для других районов продуктивного кимберлитового магматизма, среднепалеозойский (фаменский, 350-360 миллионов лет). С этого времени от момента формирования кимберлитов и начала их эрозии начинается история формирования ореолов [Афанасьев и др., 2019а].

Первичных ореолов девонского возраста, как и в других районах, не сохранилось, они были полностью размыты в более поздние этапы седиментогенеза. Но изучение онтогенических особенностей минералов показывает следующее.

Эрозия кимберлитов происходила в условиях приподнятой суши, и эрозионный срез был достаточно большой, не менее 350-400 метров, достаточный для формирования богатых ореолов. Вероятно, от Маята на север территория была несколько более возвышенная. Это следует из того, что в бассейне Маята и Уджи индикаторные минералы в процессе позднефаменской трансгрессии, охватившей всю Сибирскую платформу, окатаны относительно слабо, не выше III класса износа, тогда как на Билляхе и южнее, вплоть до Эбеляха, индикаторные минералы окатаны значительно сильнее, пиропы были закатаны до шариков, что послужило впоследствии благоприятной основой для формирования кубоидов при гипергенной коррозии.

Трансгрессия в конце фамена оставила после себя абразионный пенеплен, который определял режим седиментогенеза в последующие эпохи: наступление моря осуществлялось уже не в форме трансгрессии, а в форме ингрессии с сохранением континентальных осадков в базальных горизонтах [Афанасьев и др., 2013].

После отступления моря на выровненной суше началась эпоха корообразования. В это время Сибирская платформа находилась близ экватора и была повернута на  $180^{\circ}$  относительно нынешнего положения, то есть арктическая зона находилась на юге в наиболее благоприятных для корообразования условиях, тогда как территория нынешнего юга платформы была на севере и индикаторы на этой территории корродированы очень слабо [Афанасьев и др., 2013]. Из-за того, что минералы в бассейне Маята и севернее были окатаны слабо, среди них практически отсутствуют хорошо развитые кубоиды, которые охотно развиваются по овальным зернам. В массовом количестве кубоиды пиропов присутствуют в бассейне р. Биллях и южнее, на р. Эбелях.

В настоящее время юго-западной части Анабаро-Уджинского междуречья обнажены породы кембрия, которые являются кимберлитовмещающими. В северо-восточной части на кембрийских отложениях по мере их погружения в Лено-Анабарский прогиб залегают верхнепалеозойские и мезозойские терригенные породы, представленные нижнепермскими, верхнепермскими, триасовыми, юрскими терригенными отложениями. Таким образом, на данной

территории период от позднего девона, когда сформировались кимберлитовые тела, до верхнего палеозоя, а в юго-восточной части до четвертичного периода можно считать «немым», поскольку для него не сохранилось записей в виде геологических тел. События, происходившие на протяжении этого периода можно реконструировать на основании типоморфных особенностей ИМК следующим образом. В позднедевонское время после формирования кимберлитов имела место мощная трансгрессия, о которой свидетельствует средний до сильного механический износ ИМК. После отступления океана, на выровненной после трансгрессии суше в условиях жаркого влажного климата была сформирована кора выветривания, в условиях которой на уже окатанных зернах пиропов сформировался коррозионный рельеф. В последующие эпохи наступления моря на пенеппенизированную сушу имели характер ингрессии и отражались на ИМК в слабом послекоррозионном износе. В ходе каждого цикла литогенеза ранее существовавшие коллекторы размывались, а индикаторные минералы переотлагались во вновь формируемые отложения.

Цифровая модель рельефа (рис. 6.2.12) показывает, что открытые площади находятся в приподнятой юго-западной части территории, где эрозия уже уничтожила древние отложения, и алмазы и индикаторные минералы из них сброшены в современную гидросеть. Этим объясняется высокая алмазоносность руслового аллювия. В пониженной равнинной части, где осуществлялось шлиховое опробование, алмазы и индикаторы еще распределены в древних отложениях и пока не сформированы высокие россыпные концентрации минералов в аллювии.

Присутствие в пробах индикаторных минералов гранатов алмазной ассоциации, а также резкое доминирование среди найденных алмазов кимберлитового типа, свидетельствуют об алмазоносности коренных источников. Особый интерес вызывает находка ОАО «Нижнеленское» алмаза кимберлитового типа ювелирного качества весом около 300 каратов в аллювии реки Биллях. Алмазы такого размера и веса мало транспортабельны и определенно указывают на присутствие коренных источников – кимберлитов среднепалеозойского возраста на изученной территории [Афанасьев и др., 2019а].

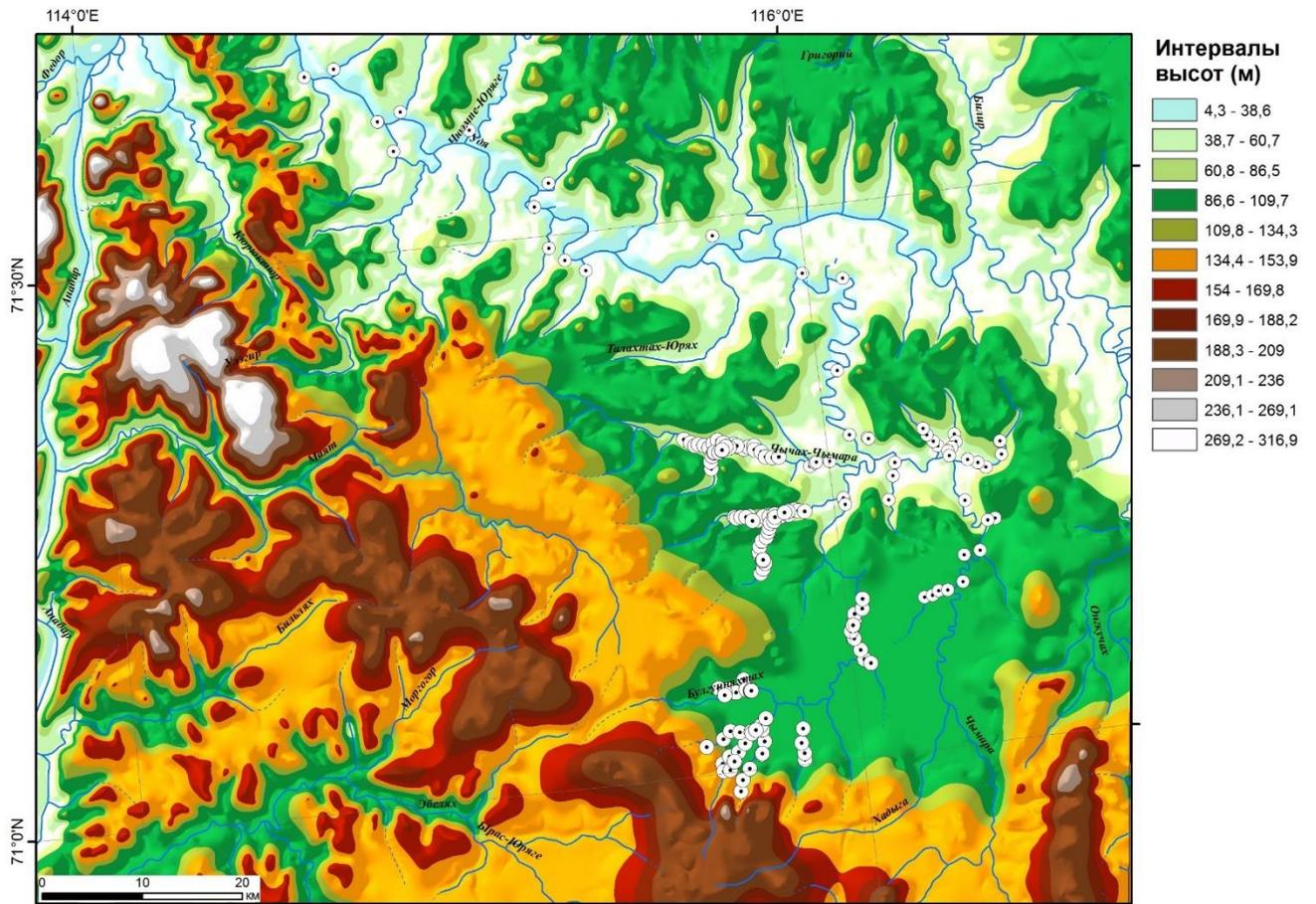


Рис. 6.2.12. Цифровая модель рельефа изученной площади с точками отробования [Афанасьев и др., 2019].

### **6.3. Участки Тарыдак и Мирюга (бассейн р. Подкаменная Тунгуска).**

#### ***6.3.1. Тарыдак.***

К северу от Чадобецкого поднятия в районе реки Тарыдак известен среднекарбонный коллектор индикаторных минералов. При опробовании данного коллектора было установлено, что индикаторные минералы кимберлитов представлены сильно окатанными пиропами и алмазами с признаками износа (приложение 2). Данная степень механического износа достижима только в прибрежно-морских трансгрессивных обстановках [Афанасьев, Зинчук, 1999]. Это объясняет отсутствие в ассоциации пикроильменита, который, в силу меньшей абразивной устойчивости, полностью уничтожается в условиях трансгрессии. Следовательно, в континентальных среднекарбонных отложениях ореол находится в переотложенном состоянии.

По механногенным поверхностям пиропов, практически на всех зернах, развит каплевидный рельеф (рис. 6.3.1), полностью уничтожающий следы докорового износа. Глубокое растворение пиропов с образованием кубоидов указывает на то, что после формирования прибрежно-морского коллектора, пиропы находились в условиях среднепалеозойской коры выветривания [Харьков, Вологовский, 1968], которая на данной территории, как и на всей Сибирской платформе, была развита в позднем девоне [Зинчук, 1994, Шамшина, 1979]. Следовательно, можно утверждать, что источником пиропов являются среднепалеозойские кимберлиты.

Датировка коры выветривания служит хронологическим репером, относительно которого можно расшифровать историю развития ореолов на данной территории. Источником пиропов с признаками “древности” служили среднепалеозойские кимберлиты, которые сформировались до периода корообразования. Далее, при формировании трансгрессивных прибрежно-морских ореолов, пиропы сильно окатались [Афанасьев, Зинчук, 1999; Зинчук, Афанасьев, 1998]. И после завершения формирования прибрежно-морских ореолов и отступления моря в условиях жаркого тропического климата развивалась кора выветривания, в которой пиропы приобрели признаки гипергенной коррозии, накладывающиеся на механогенные поверхности. В верхнем палеозое (С<sub>2</sub>) прибрежно-морской коллектор с развитой на нем корой выветривания был размыв, а минералы переотложены в континентальные отложения, где сейчас и находятся.

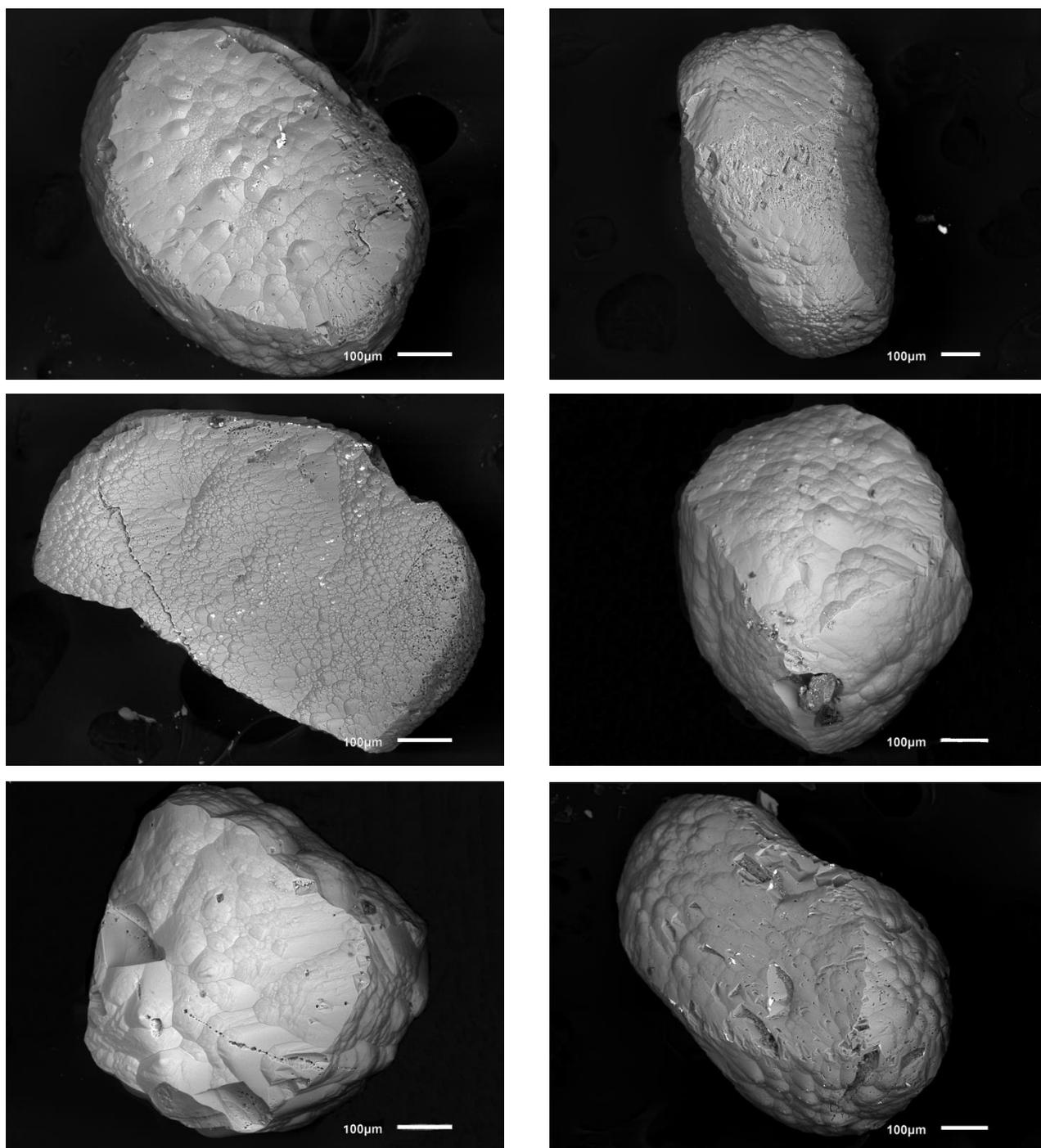


Рис. 6.3.1. Сильно окатанные пиропы с каплевидным рельефом.

По химическому составу пиропы с Тарыдакского участка показывают типичное среднепалеозойское распределение составов в координатах  $\text{CaO-Cr}_2\text{O}_3$ , причем в ассоциации устойчиво присутствуют пиропы алмазной ассоциации [Sobolev et al., 1973] (рис. 6.3.2, приложение 1).

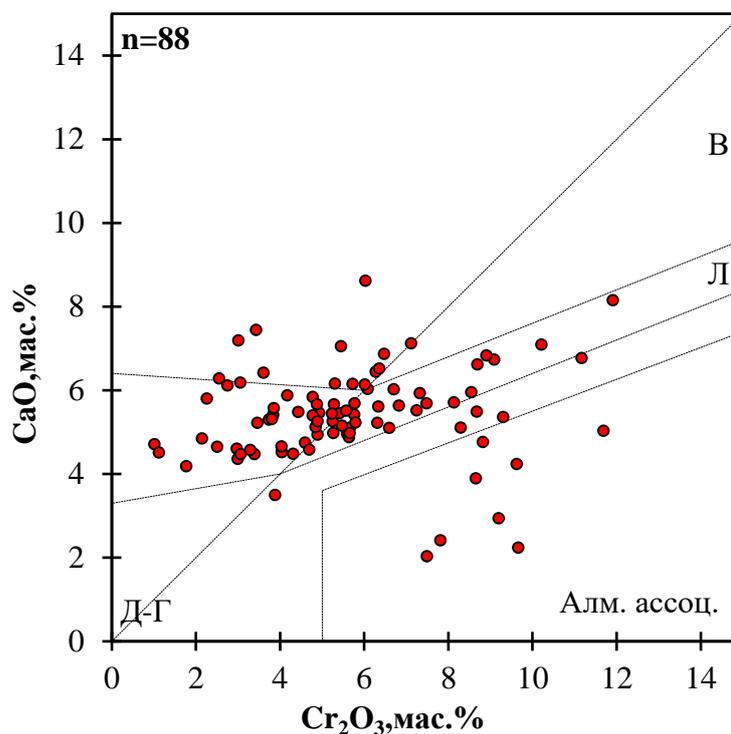


Рис. 6.3.2. Химический состав гранатов уч. Тарыдак. Поля по [Sobolev et al., 1973]: В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм. ассоц. – гранаты алмазной ассоциации.

Таким образом, морфологические особенности ИМК и химический состав пиропов указывают на наличие в данном районе алмазоносных среднепалеозойских кимберлитовых тел. Тип поисковой обстановки на данной территории третий [Афанасьев, 1989], то есть кимберлитовые тела погребены под терригенными отложениями, вмещающими ореолы индикаторных минералов кимберлитов, что значительно осложняет поиски.

### 6.3.2. Мирюга.

В долине реки Мирюга на смежной с Тарыдакским участком площади наблюдается аналогичная ситуация. Здесь прослеживается продолжение среднекарбовоного коллектора, содержащего переотложенные индикаторные минералы (окатанные до шариков пиропы и алмазы со следами механического износа). Главным отличием является наличие пирамидально-черепитчатого рельефа пиропов (рис. 6.3.3).

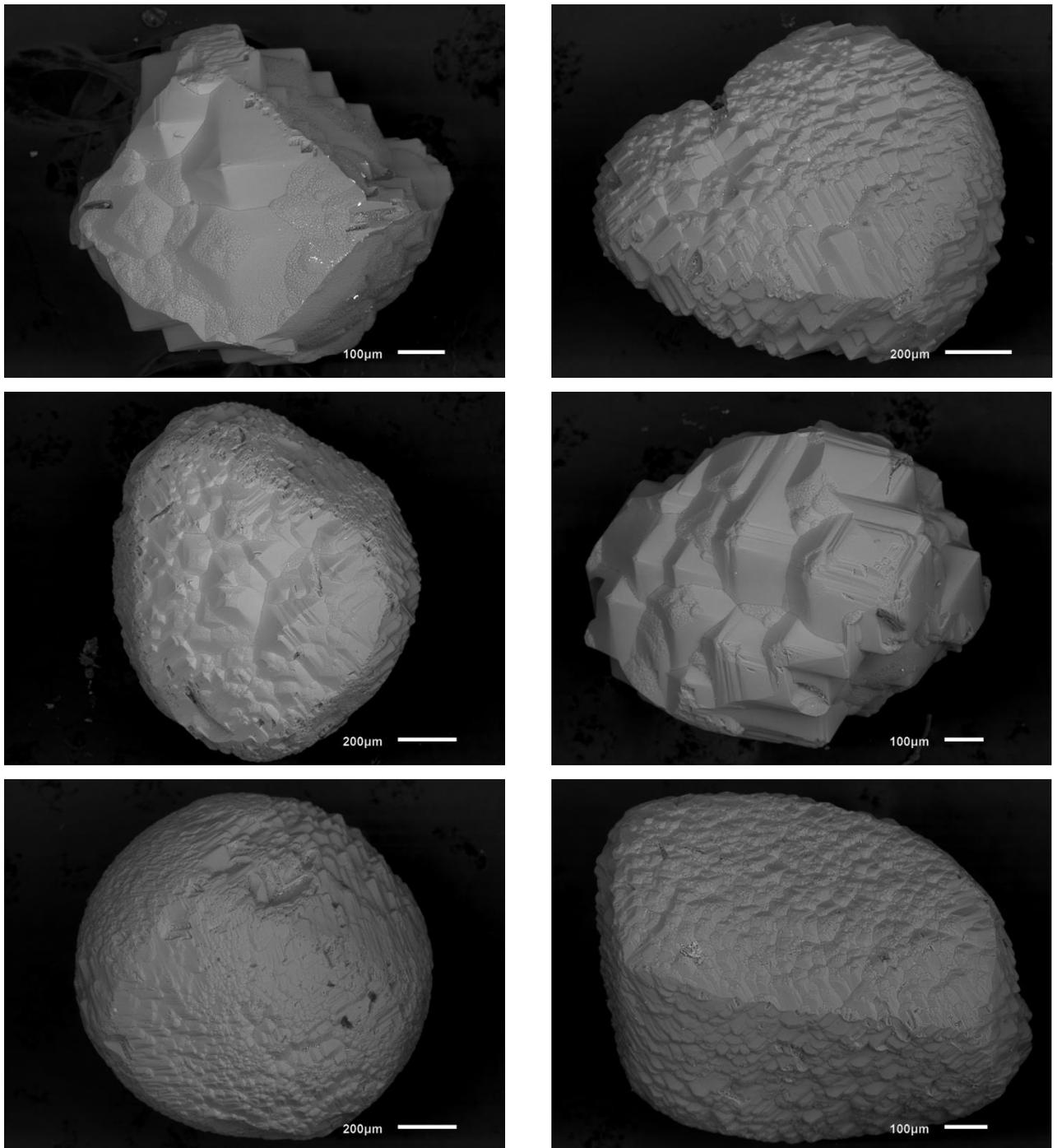


Рис. 6.3.3. Пиропы с пирамидально-черепитчатым рельефом. Мирюгинский участок.

Он связан с тем, что после этапа гипергенеза ИМК в среднепалеозойской коре выветривания, пиропы из Мирюгинского коллектора испытали на себе воздействие дифференцированных траппов. В результате гидротермальной деятельности в экзоконтакте траппа в пермо-триасовый период произошло растворение пиропов с образованием специфического пирамидально-черепитчатого рельефа [Афанасьев, 1985].

Распределение составов гранатов соответствует среднепалеозойским кимберлитам, так же как на Тарыдакском участке, присутствуют высокохромистые субкальциевые пиропы алмазной ассоциации (рис. 6.3.4, приложение 1).

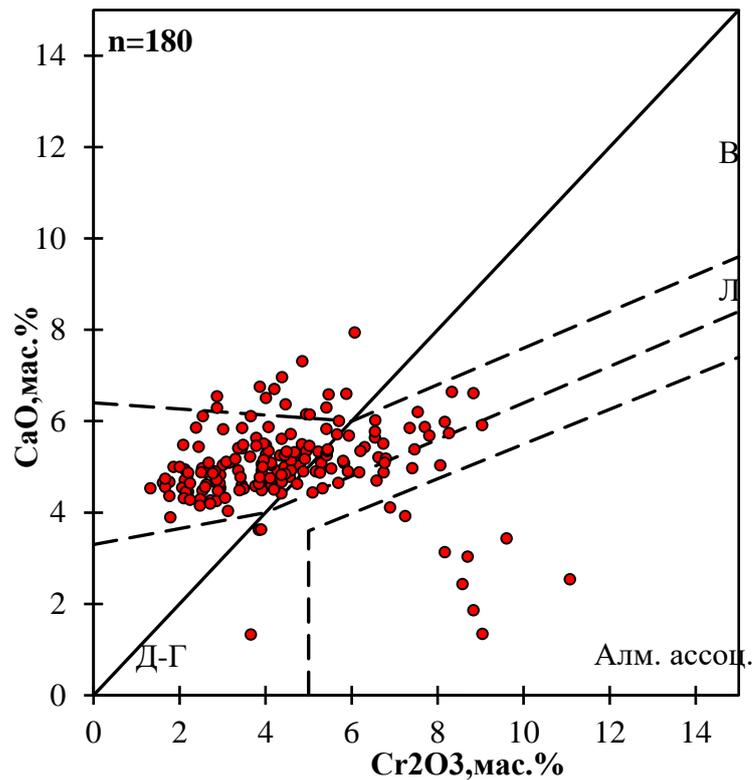


Рис. 6.3.4. Химический состав гранатов уч. Мирюга. Поля по [Sobolev et al., 1973]: В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм. ассоц. – гранаты алмазной ассоциации.

Таким образом, морфологические особенности ИМК и химический состав пиропов с Тарыдакского и Мирюгинского участков указывают на наличие в данном районе алмазоносных среднепалеозойских кимберлитовых тел. Тип поисковой обстановки на данной территории третий, то есть кимберлитовые тела погребены под терригенными отложениями, вмещающими ореолы индикаторных минералов кимберлитов, что значительно осложняет поиски [Афанасьев, 1989].

В настоящее время Тарыдакский алмазоносный коллектор (Краснярский край) представлен континентальными среднекарбоновыми отложениями, содержащими ИМК (пироп и алмаз). Для пиропов характерно наличие признаков гипергенной коррозии и сильного механического износа, предшествующего коррозии. Как известно, единственная известная на

Сибирской платформе кора выветривания, оставившая на ИМК следы гипергенных изменений, датируется поздним девонем-ранним карбоном (D3–C1). Докоррозионный износ определенно указывает на существование докорового коллектора, при формировании которого пиропы сильно окатались. Высокая степень механического износа пиропы с полным истиранием пикроильменита достижима только в прибрежно-морских трансгрессивных обстановках, которые были развиты на Сибирской платформе в позднем девоне. В верхнем палеозое прибрежно-морской коллектор с развитой на нем корой выветривания был размыв, а индикаторные минералы переотложены в континентальные отложения, где сейчас и находятся.

#### **6.4. Чомполинское поле**

Чомполинское поле расположено в юго-восточной части Сибирской платформы, в верховьях реки Амга. Трубки взрыва и дайки считались ранее кимберлитовыми, но исследования сотрудников ИГМ СО РАН показали, что эти породы являются лампрофирами [Nikolenko et al., 2020]. На большей части его территории на дневной поверхности обнажены породы кембрия-протерозоя, которые являются лампрофировмещающими, на водоразделах встречаются реликты нижнеюрских отложений, содержащие индикаторные минералы.

Информация о первых находках алмазов в Центральном-Алданском районе появилась от старателей начале 50-х годов XX века. Однако основной предпосылкой для проведения поисковых работ на данной территории послужил отчет Мудрика 1988 г. [Мудрик, 1988, фондовые материалы], где содержались указания на находки алмазов и обнаружение потоков рассеяния индикаторных минералов. В 2012 и 2013 гг. отрядами лаборатории 451 были проведены геолого-геоморфологические маршруты и шлихо-минералогическое опробование на территории Верхнеамгинской площади. Детальное изучение этих проб легло в основу данной главы.

С помощью сканирующей электронной микроскопии мною изучено более 1300 зерен индикаторных минералов из аллювия и лампрофировых тел Чомполинского поля. Индикаторные минералы представлены преимущественно пиропом и пикроильменитом, в меньших количествах присутствуют хромит и хромдиопсид.

Степень механического износа пиропов слабая, и лишь единичные зерна могут быть отнесены к средней степени износа (приложение 2). Как правило, для пиропов характерен «первичный» рельеф, сформированный в коренном источнике (рис. 6.4.1). Реже встречается

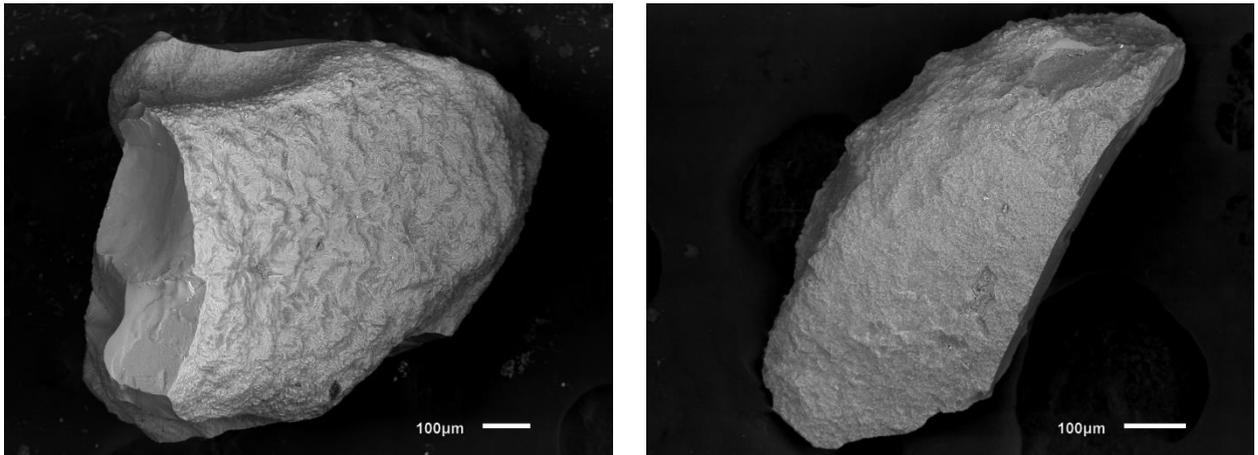


Рис. 6.4.1. «Первичный» рельеф гранатов.

развитый в разной степени пирамидально-черепитчатый рельеф. (рис. 6.4.2) который на данной территории можно связать с периодом познеюрской – меловой магматической активизации, обусловившей формирование сиенитовых массивов при формировании Ямальского горста [Афанасьев и др., 2020].

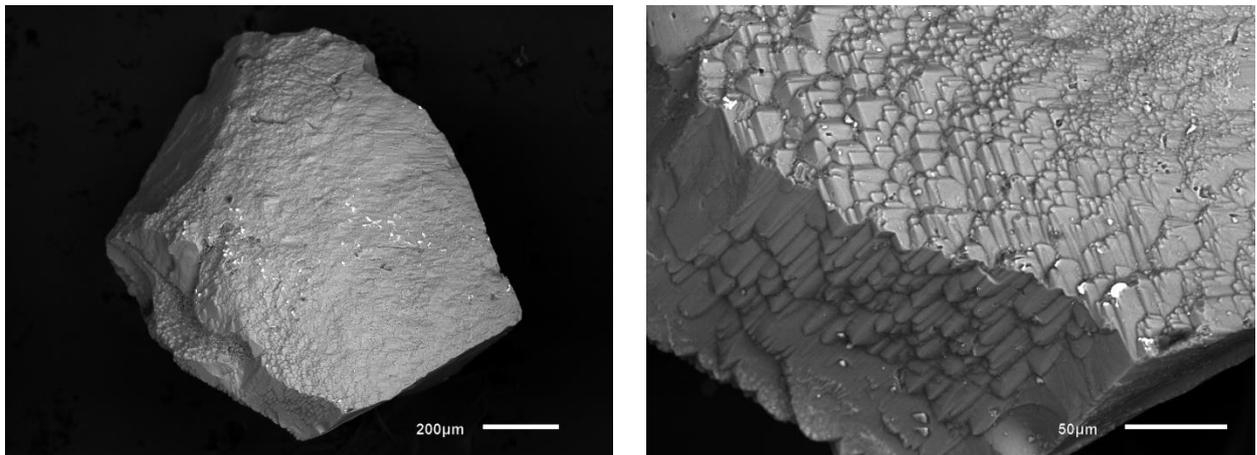


Рис. 6.4.2. Гранаты с пирамидально-черепитчатым рельефом. А – общий вид, Б – детали рельефа.

Иногда на зернах заметны признаки механического износа, указывающего на поступление данных зерен из промежуточного юрского коллектора (рис 6.4.3). На некоторых зёрнах встречается полирующий тип механического износа (рис. 6.4.3 А, Б), характерный для ингрессии морского бассейна. На нескольких зернах гранатов наблюдается каплевидный рельеф гипергенного растворения (рис. 6.4.4). На Сибирской платформе гипергенез индикаторных минералов связан со среднепалеозойской корой выветривания (D3-C1). Еще одна кора

выветривания на данной территории была развита в позднем триасе – ранней юре, но она не оставила следов на минералах. Есть вероятность, что кубоидный рельеф на гранатах

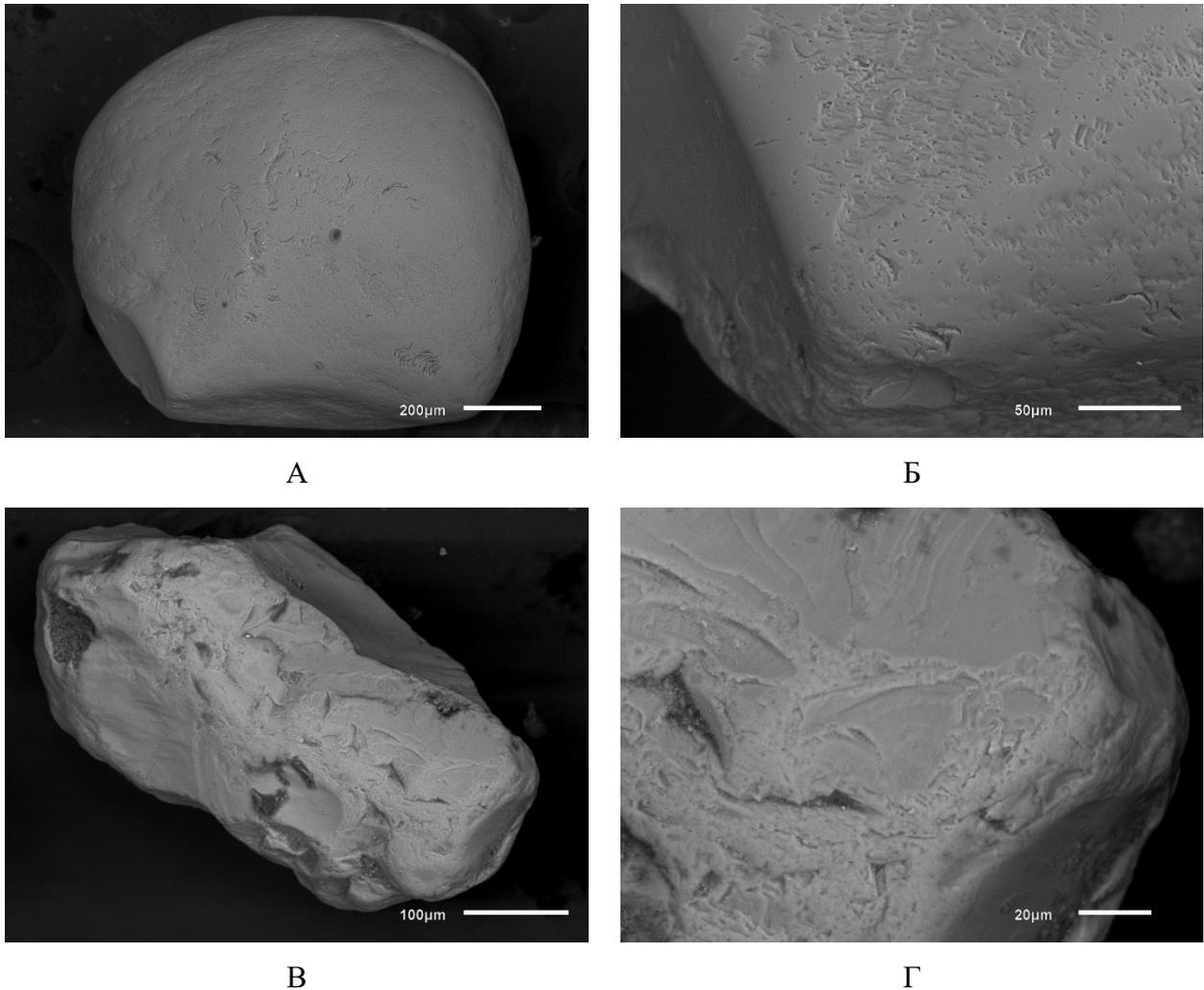


Рис. 6.4.3. Морфология гранатов из промежуточных юрских коллекторов: гранаты с механогенной полировкой (А – общий вид, Б – детали), следы слабого механического износа (В – общий вид, Г – детали рельефа).

Чомполинского поля является формой развития пирамидально-черепитчатого рельефа, связанного с постмагматической проработкой лампрофировых тел при формировании сиенитовых массивов. Сходная ситуация наблюдается в Хатыстырском поле лампроитов, расположенном юго-восточнее Чомполинского поля. Трубки Хатыстырского поля имеют юрско-меловой возраст. Однако в трубке Нэт присутствуют гранаты со следами гипергенного растворения по кубоидному типу. Наиболее вероятно, что их появление связано с мощнейшей постмагматической карбонатизацией [Богатиков и др., 1991]. Пока в этом вопросе нет ясности. Необходимы новые данные.

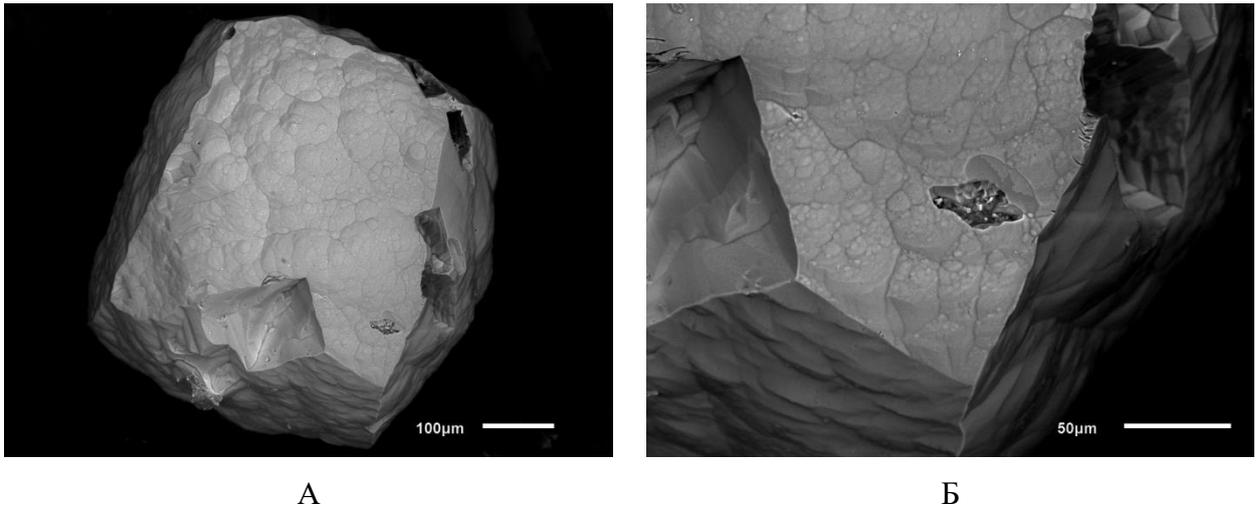


Рис. 6.4.4. Пироп с каплевидным рельефом гипергенного растворения. А – общий вид, Б – детали рельефа.

Распределение составов гранатов из всех проб Чомполинского поля соответствует мезозойским источникам (рис. 6.4.5, приложение 1) и показывает отсутствие субкальциевых высокохромистых пиропов дунит-гарцбургитового парагенезиса, характерных для алмазонасных кимберлитов [Sobolev et al., 1973].

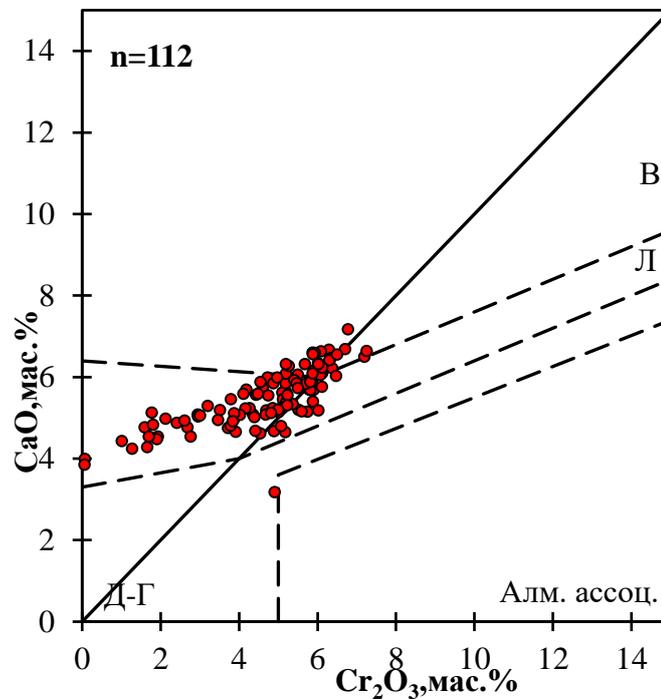
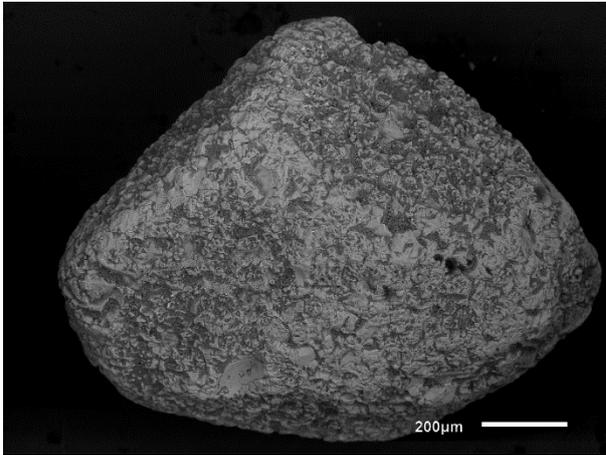
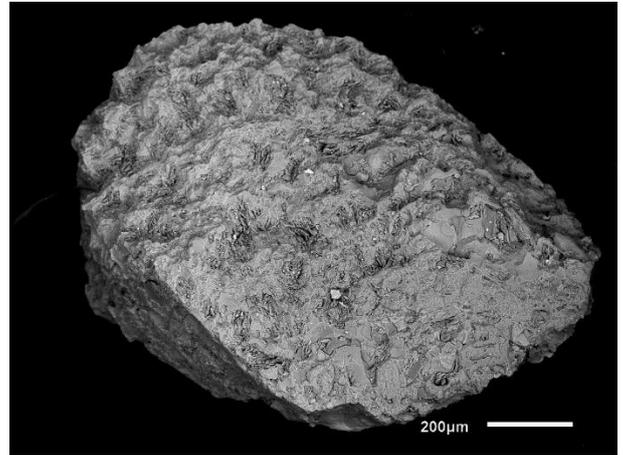


Рис. 6.4.5. Химический состав гранатов Чомполинского поля. Поля по [Sobolev et al., 1973]: В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм. ассоц – гранаты алмазной ассоциации.

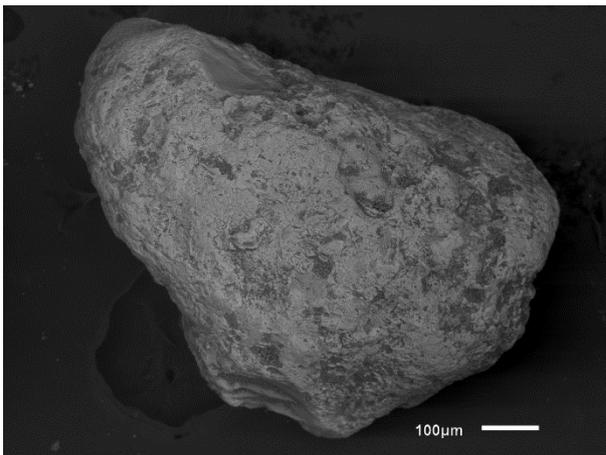
Для пикроильменина характерно наличие микропирамидального рельефа хорошей сохранности (рис. 6.4.6 А, Б), что указывает на слабый механический износ. В редких случаях встречаются среднеокатанные зерна, переотложенные из ранее существовавшего промежуточного коллектора (6.4.6 В, Г).



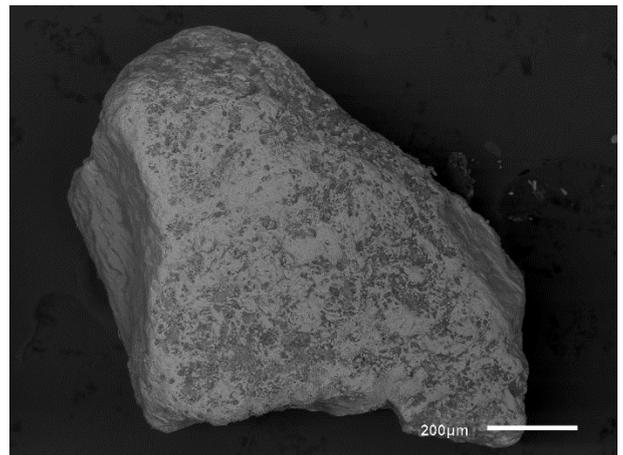
А



Б



В



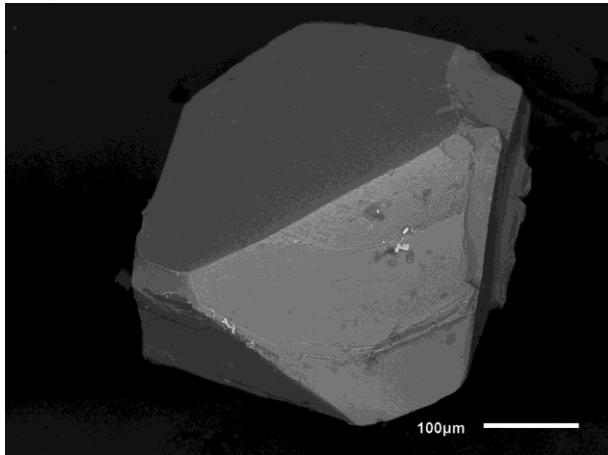
Г

Рис. 6.4.6. Морфологические особенности пикроильменита: А, Б – слабая степень механического износа пикроильменитов, В, Г – средняя степень износа пикроильменитов.

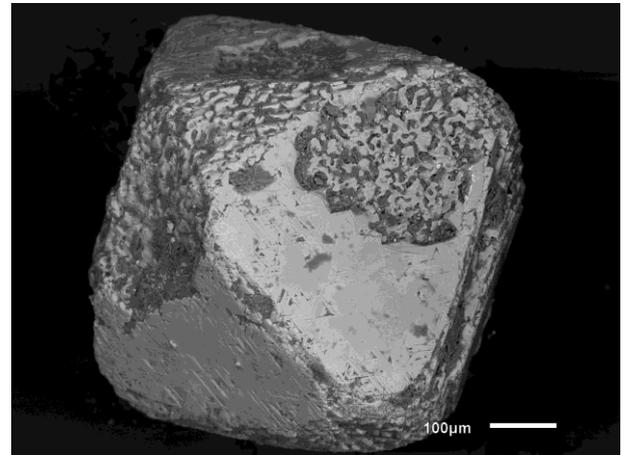
Хромиты Верхнеамгинской площади представлены двумя морфологическими и генетическими типами. Первый относится к т.н. «курунгскому» типу и служит «ложным» индикатором кимберлитов и, соответственно, лампрофиров. Он связан с ультраосновными породами невыясненного типа и распространен по всей Сибирской платформе.

Второй тип хромитов происходит из лампрофиров и имеет типичные признаки роста в результате твердофазных реакций [Афанасьев и др., 2010]. Для них характерны округлые, сглаженные формы, октаэдры с вичиналями, мириоэдрические кристаллы. В аллювии они, как правило, не имеют признаков износа, поскольку их седиментологическая история коротка.

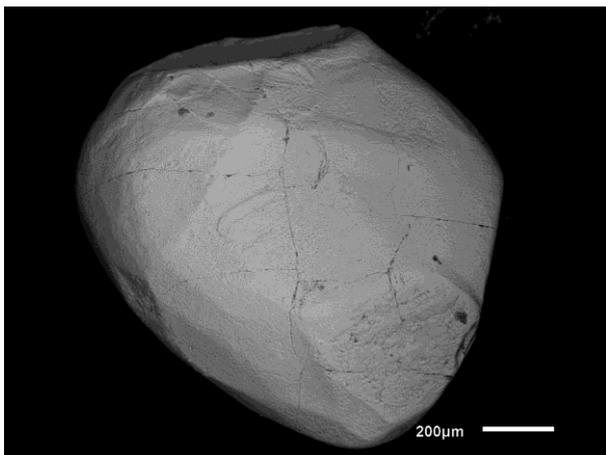
На рис. 6.4.7 представлены типичные морфологические особенности хромитов «курунгского» типа (А, Б) и из лампроитов (В, Г).



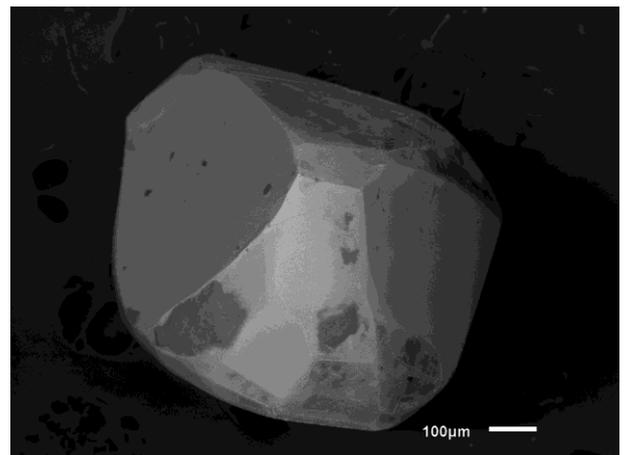
А



Б



В



Г

Рис.6.4.7. Морфологические особенности хромитов: А, Б - хромиты «курунгского» типа, В, Г - хромиты из лампрофиров

Историю развития изучаемого района можно представить следующим образом. Внедрение лампрофировых трубок произошло в условиях выровненной слабоприподнятой суши. В этих условиях эрозионные процессы протекали неактивно, поэтому юрские отложения, являющиеся промежуточным коллектором, небогаты индикаторными минералами. Наиболее вероятно, что нижнеюрские отложения были распространены на всей территории и перекрывали трубки взрыва, а трубка Перевальная частично перекрыта ими и в настоящее время. При их формировании имела место ингрессия моря, которая отразилась на индикаторных минералах в виде слабого износа и механогенной полировки [Афанасьев, Зинчук, 1999].

В посленижнеюрское время произошло довольно быстрое образование горста, которое, вероятно, связано с активизацией щелочного магматизма в Центрально-Алданском районе в поздней юре-раннем мелу. При внедрении щелочных пород произошло окварцевание юрских отложений, что позволило им сохраниться при воздымании горста на возвышенных участках [Афанасьев и др., 2020].

Комплекс минералогических критериев оценки возраста коренных источников индикаторных минералов, показывает, что основное количество лампрофировых минералов происходит из неалмазоносных мезозойских источников, о чем свидетельствует преимущественно слабый износ индикаторных минералов, отсутствие гипергенных изменений, типичное для мезозойских источников распределение составов пиропов с полным отсутствием высокохромистых субкальциевых гранатов алмазной ассоциации [Sobolev et al., 1973]. Однозначно определить возраст лампрофиров Чомполинского поля пока сложно. Изотопные датировки  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом указывают на юрско-меловой возраст [Nikolenko et al., 2020]. Однако, по геологическим данным более вероятен триасовый возраст, поскольку трубка Перевальная перекрыта юрскими отложениями, к тому же сохранившиеся на данной территории юрские коллекторы содержат комплекс индикаторных минералов.

Нами изучены индикаторные минералы из лампроитовых тел и аллювиальных шлиховых ореолов Чомполинского поля. Подавляющее большинство минералов имеют типичные признаки «первичного» рельефа, т.е. сформированного в кимберлитовом теле. Вместе с тем некоторые зерна показывают признаки механического износа, указывающего на поступление данных зерен из промежуточного юрского коллектора. Характерен полирующий тип механического износа; такой тип износа свойственен в целом минералам из юрских отложений региона, в частности кварцевым зернам, имеющим хорошо отполированную блестящую поверхность.

По данным поисковых работ 2012-2013, в южной части района обнаружен новый поток рассеяния индикаторных минералов, который прослеживается по реке Аллара-Сасыл-Сиебит (рис. 6.4.8). Коренные источники, продуцирующие его, пока не найдены, что дает основания для продолжения поисковых работ в данном районе. Исходя из того, что на данной территории лампрофировые тела выходят на дневную поверхность, а существовавшие древние промежуточные коллекторы размыты (II тип поисковой обстановки [Афанасьев, 1989]), возможно продолжать поиски методом шлихового опробования.



### **6.5. Северная часть Оленекского поднятия.**

Изучаемый район расположен на северо-восточной окраине Оленекского поднятия у его подножья на границе с кряжем Чекановского в бассейнах рек Келимяр, Никабыт, Хорбусуонка, Толуопка.

Большинство пиропов на Келимярской территории характеризуется слабым механическим износом при отсутствии гипергенной коррозии (рис. 6.5.1). По минералогическим признакам оценки возраста коренных источников, с учетом того, что совершенно такие же индикаторные минералы кимберлитов присутствуют в рэтском коллекторе верхнего триаса, кимберлиты данной площади имеют триасовый (раннетриасовый, как на других площадях) возраст. Однако в некоторых пробах присутствуют единичные пиропы с гипергенной коррозией (рис. 6.5.3) и с пирамидально-черепитчатым рельефом (рис. 6.5.4), а также пиропы с повышенным износом, соответствующим прибрежно-морскому трансгрессивному литодинамическому типу (Рис.: 6.5.2). Сильный механический износ и наличие гипергенной коррозии указывает на поступление минералов из среднепалеозойского коллектора. Однако на исследуемой территории рэтский коллектор (Т<sub>3</sub>) повсюду залегает на неразмытой перми, соответственно пермские отложения не могли подпитывать рэтские ореолы корродированными минералами, даже если они там были. Следовательно, рэтский коллектор содержит только индикаторные минералы триасовых кимберлитов. К тому же в ходе полевых работ было проведено шлиховое опробование базального горизонта перми, которое показало отсутствие в ней индикаторных минералов кимберлитов.

Необходимо отметить, что на всех сильно окатанных пиропках со следами гипергенной коррозии присутствует второй этап механического износа (приложение 2) – тонкая механогенная полировка, развитая по коррозионному рельефу. Исходя из истории развития Сибирской платформы, можно утверждать, что сильный механический износ и гипергенная коррозия указывают на поступление пиропов из среднепалеозойского коллектора. Механогенная полировка, развитая по гипергенной поверхности, характерна для мезозойских условий седиментогенеза при ингрессивном развитии бассейнов. Следовательно, источником этих пиропов являются среднепалеозойские кимберлиты. Попасть в современный аллювий они могли двумя путями: либо при размыве пермского коллектора, что маловероятно, поскольку при опробовании пермских отложений индикаторные минералы обнаружены не были, либо, что более вероятно, эти пиропы были принесены ледником из-за рамки территории работ.

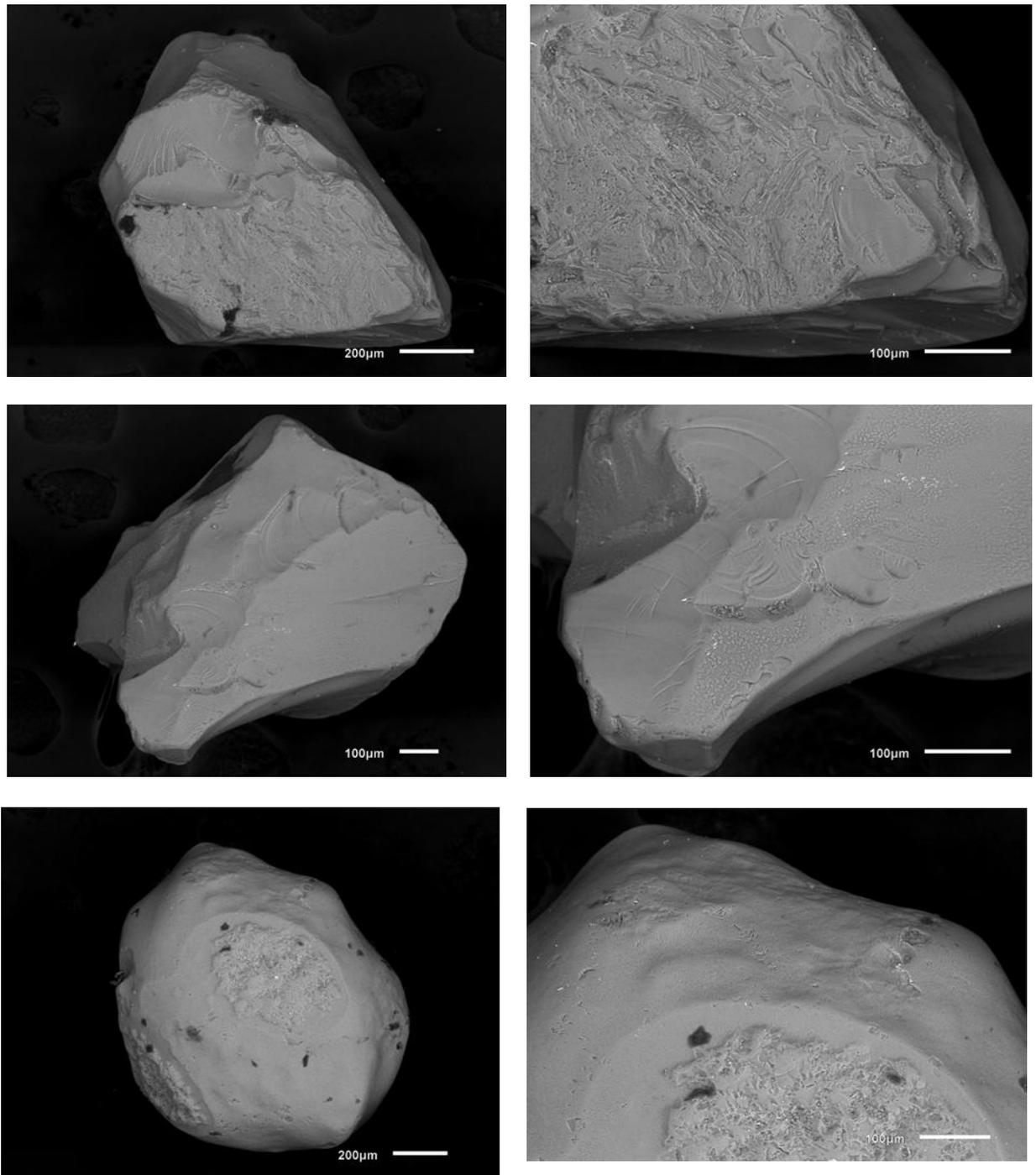


Рис. 6.5.1. Пиропы с «первичной» морфологией.

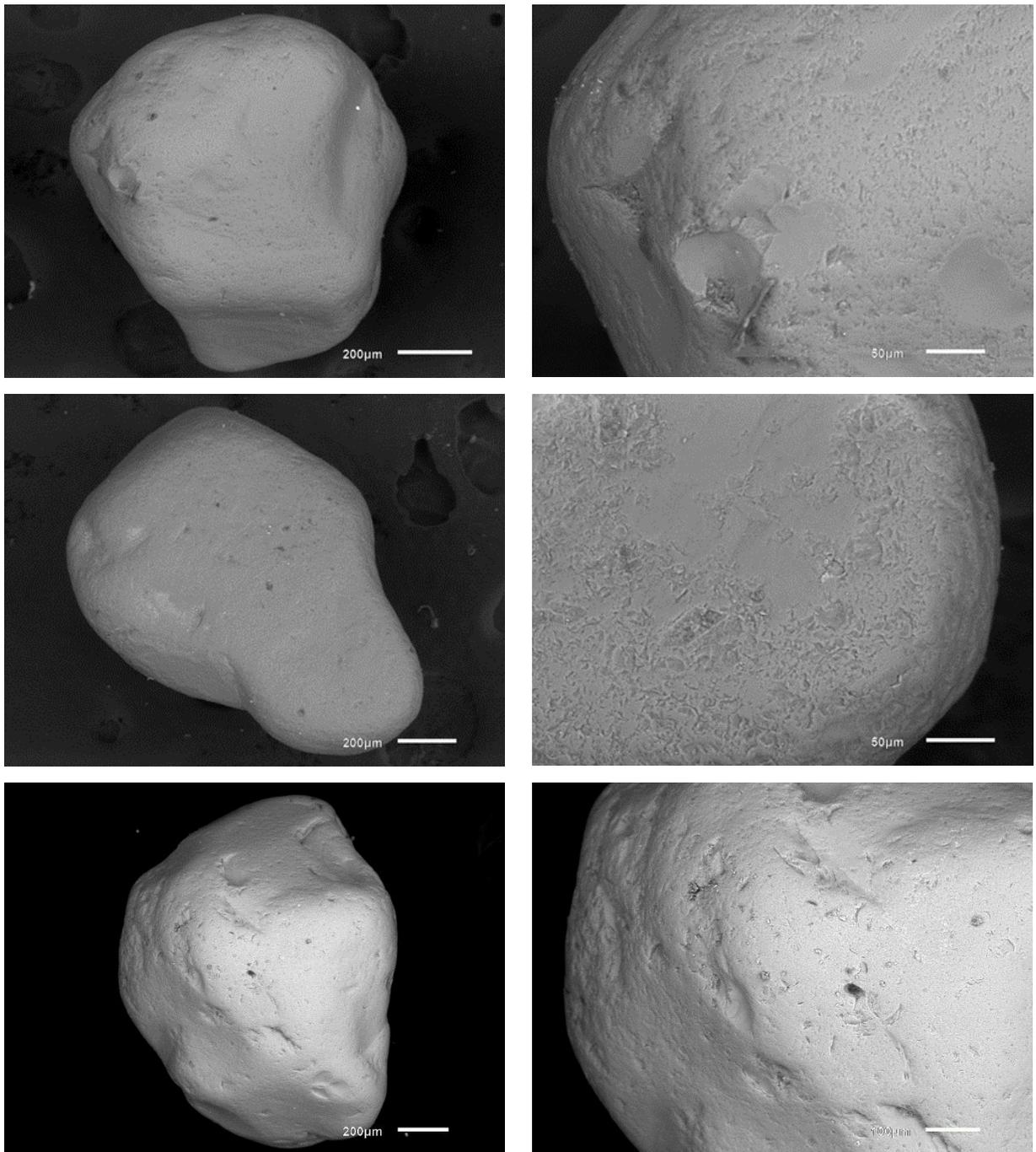


Рис. 6.5.2. Пиропы с сильным механическим износом.

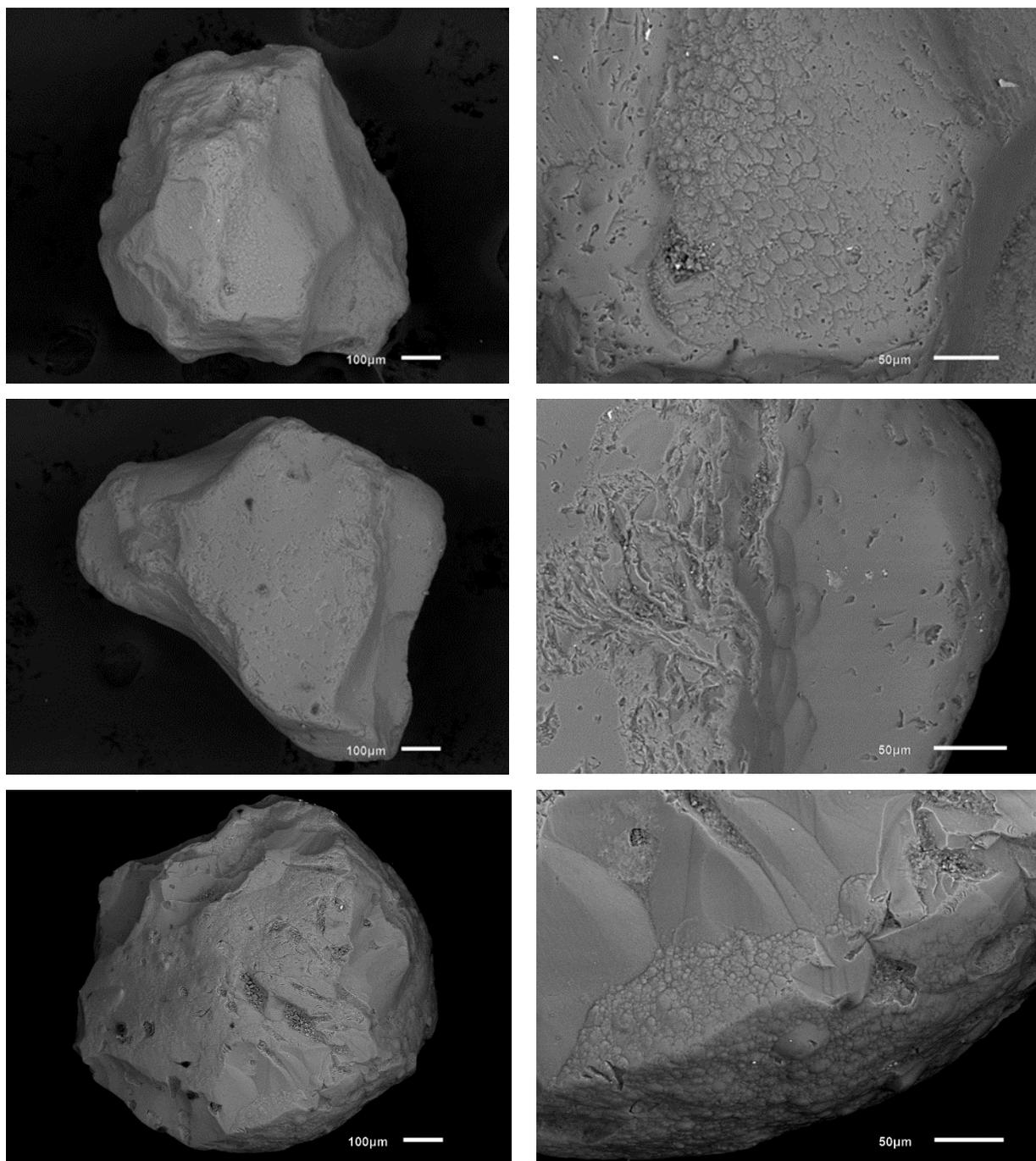
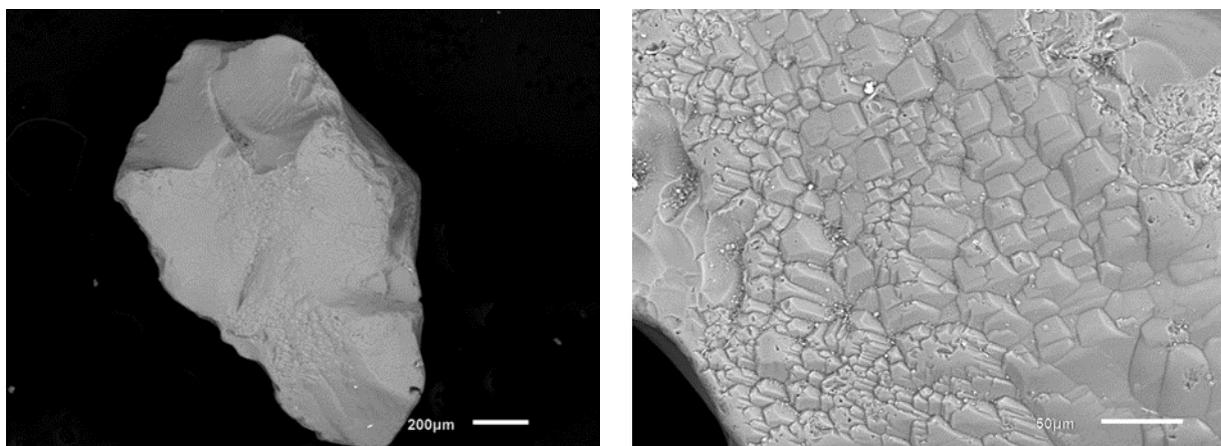


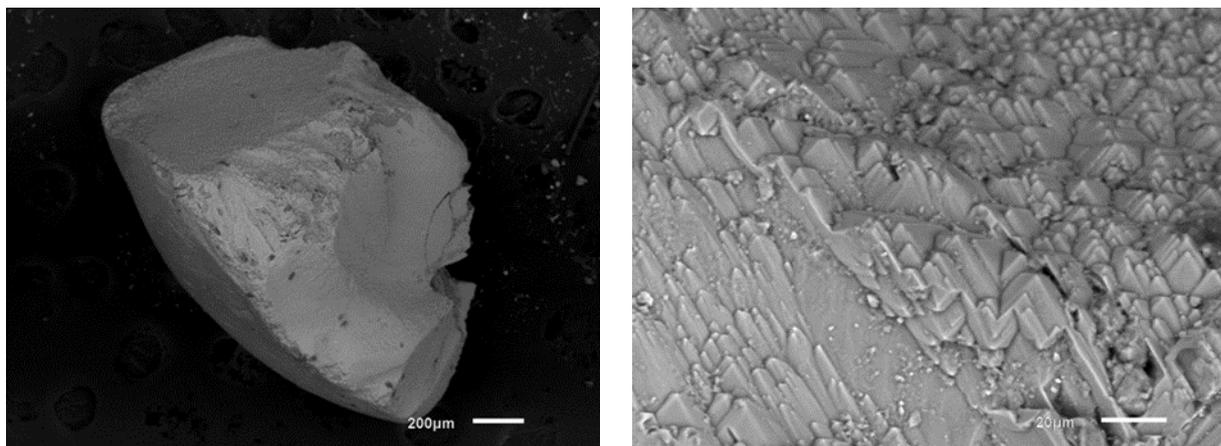
Рис. 6.5.3. Пиропы с гипергранной коррозией, предшествующим слабым износом и последующей полировкой.

Помимо пиропов со следами гипергранной коррозии, в пробах присутствуют единичные зерна с типичным пирамидально-черепитчатым рельефом. Формирование пирамидально-черепитчатого рельефа связано с метагенезом при формировании складчатости либо с метасоматозом при внедрении дифференцированных траппов [Афанасьев, 1985]. Однако для

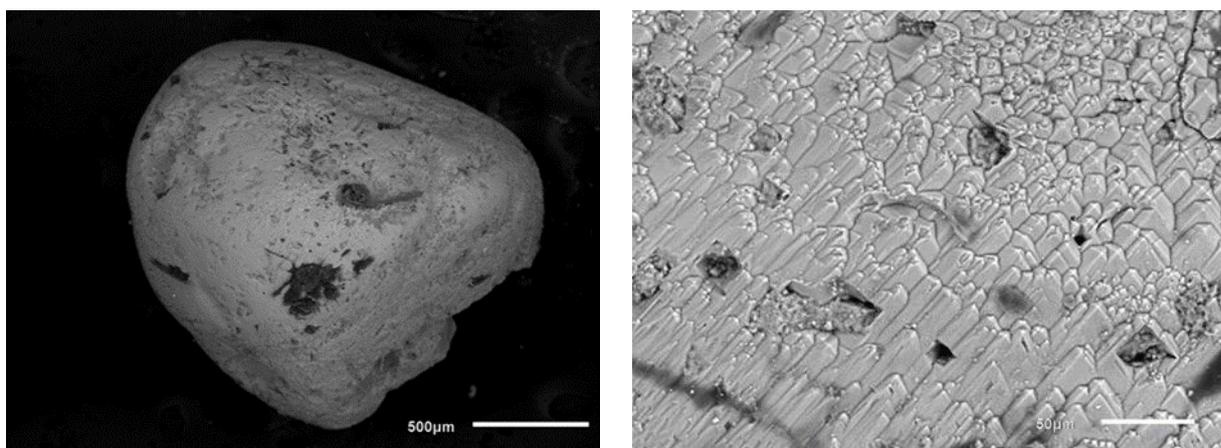
изучаемой территории ни те, ни другие условия не характерны. Наиболее вероятно, что эти зерна также были принесены ледником из-за пределов Келимянской территории.



А



Б



В

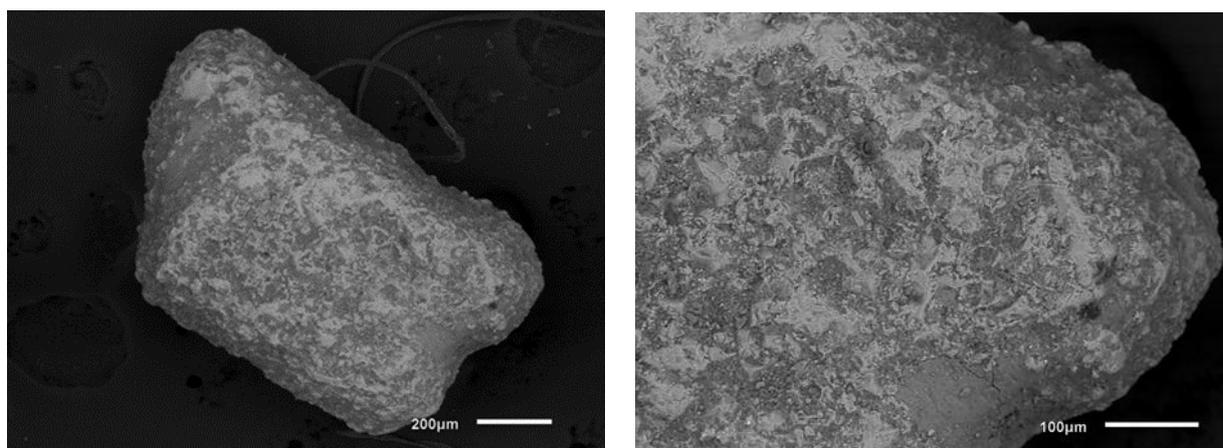
Рис. 6.6.4. Пиропы с пирамидально-черепитчатым рельефом и предшествующим слабым (А, Б) и сильным (В) механическим износом

Степень механического износа пикроильменитов варьирует от слабой до предельной с образованием псевдогексагональных табличек (рис. 6.5.5). Подавляющее большинство пикроильменитов имеют слабую до средней степень механического износа с шероховатым механогенным или микропирамидальным рельефом. Сильно или предельно окатанные зерна встречаются крайне редко. Наиболее вероятно, что они, так же, как и корродированные пиропы были принесены ледником из-за границ изучаемой территории.

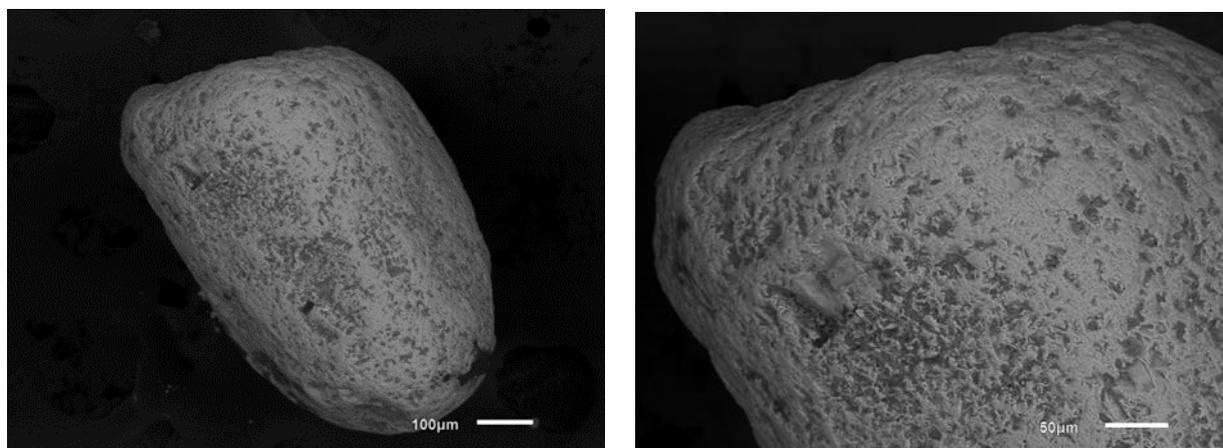
Предположение о привносе ледником индикаторных минералов, не характерных для изучаемой территории, подкрепляется обнаружением эскеров субширотного направления на водоразделах ручьев Эмяхсин-Юряге и Толуопка-Юряге, обнаруженных автором в ходе полевых работ на данной территории.

Необходимо отметить, что внутри изучаемой территории наблюдается некоторая дифференциация по минералогии индикаторных минералов. В бассейнах рек Хорбусуонка и Никабыт индикаторные минералы менее окатанны, практически отсутствуют «экзотические» зерна с гипергенной коррозией, пирамидально-черепитчатым рельефом и сильным механическим износом. В бассейне реки Келимяр значительно чаще встречаются пиропы с каплевидным и пирамидально-черепитчатым рельефом, а также сильно окатанные зерна, соответствующие трансгрессивным прибрежно-морским обстановкам. Вероятно, это объясняется тем, что индикаторные минералы в бассейнах рек Хорбусуонка и Никабыт питаются преимущественно за счет местных источников, в то время как в бассейне Келимяра велика вероятность привноса ледником материала с западных румбов.

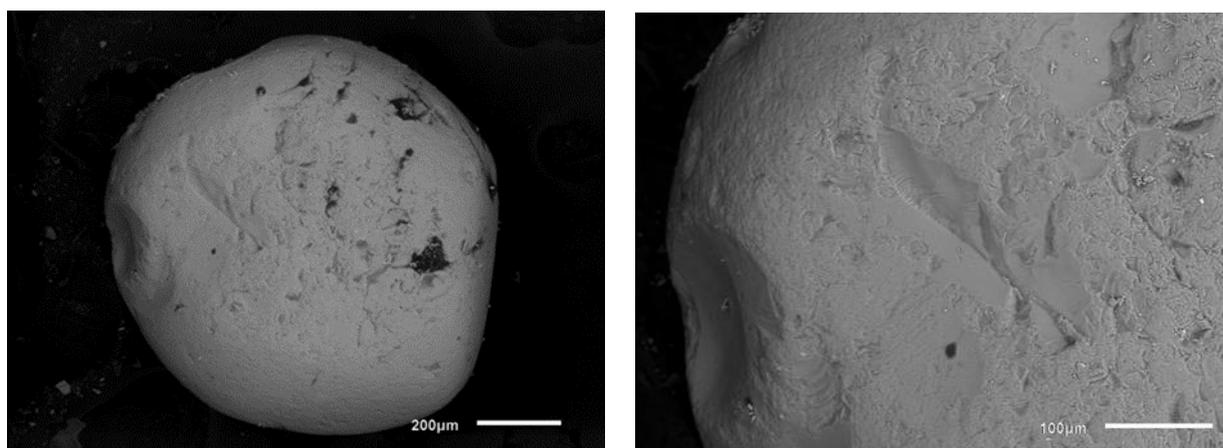
Все обнаруженные хромиты по морфологии соответствуют «курунгскому» типу и относятся к «ложным» индикаторам кимберлитов (рис. 6.5.6). Их источником на Келимярской площади являются трубки взрыва калиевых щелочных вулканитов на апикальной части Оленекского поднятия. Об этом свидетельствует полная аналогия составов хромитов Келимярской площади и хромитов из этих трубок [Шпунт, Шамшина, 1989]



А



Г



Е

Рис. 6.5.5. Морфология пикроильменитов: А – пикроильменит со слабым механическим износом и микропирамидальным рельефом, Б, В - пикроильменит со слабым механическим износом, Г, Д - пикроильменит со средним механическим износом, Е – псевдогексагональная табличка пикроильменита, пердельная степень механического износа.

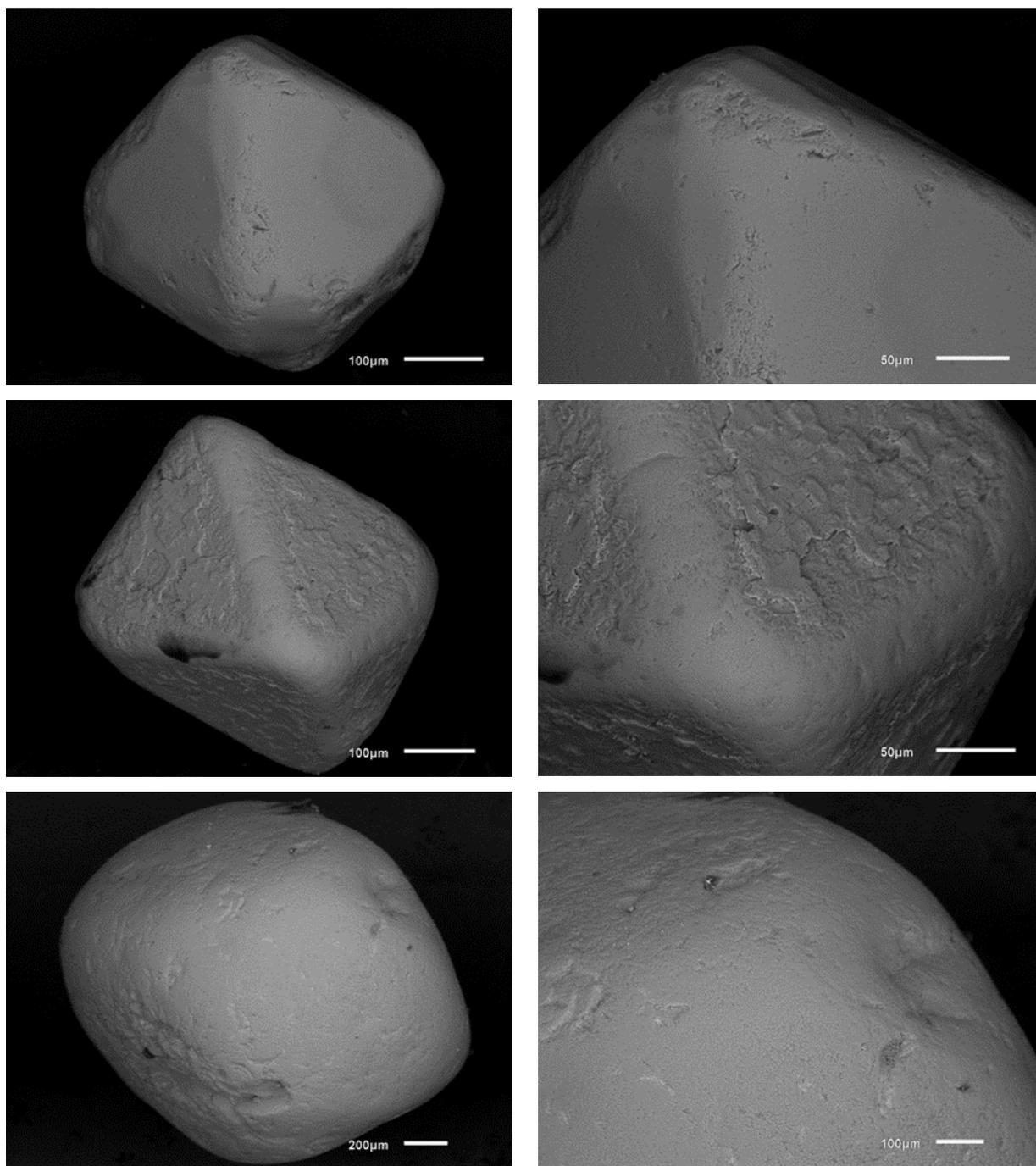


Рис. 6.5.6. Хромиты «курунгского» типа.

Распределение составов пиропов на диаграмме Н.В. Соболева [Sobolev et al., 1973] указывает на среднепалеозойский или триасовый возраст (рис. 6.5.7, приложение 1). В некоторых пробах в незначительных количествах присутствуют гранаты алмазной ассоциации, что позволяет предполагать потенциально низкую алмазность коренных источников.

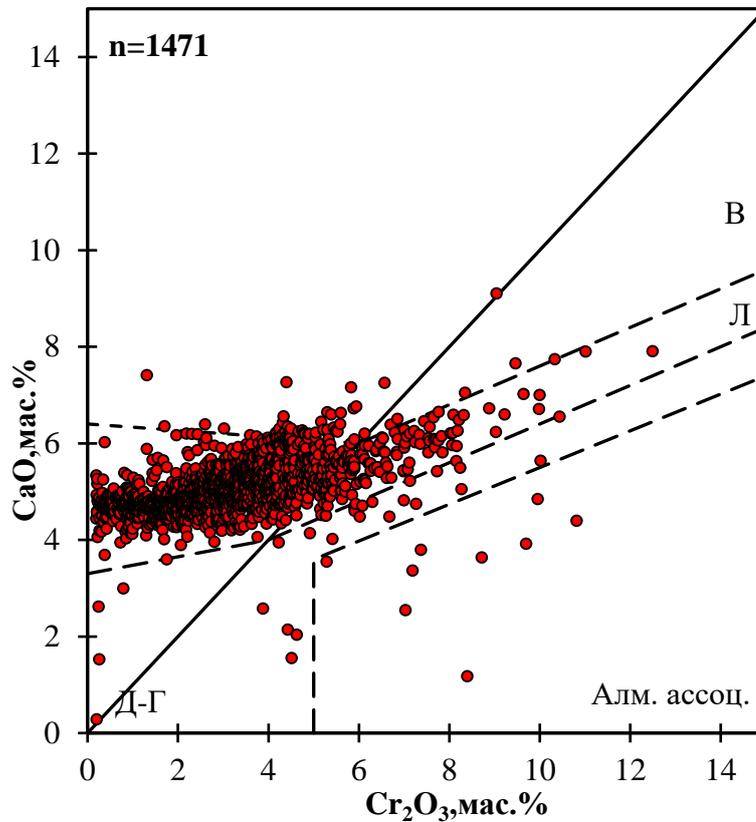


Рис. 6.5.7. Химический состав гранатов Келимярской площади. Поля по [Sobolev et al., 1973]: В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм. ассоц. – гранаты алмазной ассоциации.

По морфологическим особенностям индикаторных минералов геологическую историю развития Келимярской площади можно представить следующим образом. Если не брать во внимание единичные зерна индикаторных минералов с морфологическими особенностями, характерными для среднепалеозойских кимберлитов, то единственной формой экзогенных изменений является механический износ. Для пиропов характерен слабый износ, для пикроильменитов слабый до среднего. Механогенные поверхности в обоих случаях имеют большие радиусы закругления, что характерно для однородной в гранулометрическом плане абразивной среды. Такая форма износа характерна для достаточно вялого гидродинамического режима мелководного моря. Эти условия были широко распространены в мезозойское время на территории всей Сибирской платформы при ингрессивном наступлении моря на пенепленизированную после девонской трансгрессии сушу [Афанасьев, 1989]. Возраст первичного прибрежно-морского коллектора определить затруднительно; весьма вероятно, что он был карнийский, по аналогии с сопредельными территориями (Булкурская антиклиналь). Рэтский коллектор вряд ли является первичным, т.к. имеет «мусорный» характер, разнообразную

гранулометрию обломочного материала и ее невыдержанность по простиранию; встречаются обломки окаменевшей древесины (рис. 6.5.8). В этих условиях указанный выше износ не образуется. Поэтому наиболее вероятно рэтский коллектор содержит материал, переотложенный из более древнего коллектора, не исключено, что и дважды переотложенный (из карния в норий, далее в рэт).



Рис. 6.5.8. Обломки окаменевшей древесины из рэтского коллектора.

На основании морфологии и состава индикаторных минералов наиболее вероятно, что на Келимярской площади распространены кимберлиты триасового возраста. Слабый механический износ и отсутствие гипергенной коррозии характерно как для триасовых, так и для юрских кимберлитов. Однако распределение составов пиропов на диаграмме Н.В. Соболева не характерно для юрских кимберлитов, к тому же присутствуют гранаты алмазной ассоциации. В ходе полевых работ 2013 г. в шлиховых и мелкообъемных пробах нами было найдено 15 алмазов, 4 из них относятся к типичным кимберлитовым. Поэтому мы предполагаем, что источником индикаторных минералов являются триасовые убогоалмазоносные кимберлиты. Так же триасовый возраст подтверждается тем, что на территории изучаемого района найден слой кимберлита неясной морфологии мощностью 40см между пермскими и и рэтскими отложениями кимберлитовое тело, перекрытое юрскими отложениями.

Незначительное количество индикаторных минералов со следами гипергенной коррозии и сильным износом, характерными для среднепалеозойских кимберлитов, и пирамидально-черепитчатым рельефом, формирующимся в условиях метегенеза при формировании складчатости, наиболее вероятно принесено из-за пределов Келимярской площади.

### **6.6. Накынское поле**

Накынское кимберлитовое поле расположено на западной окраине Вилюйской синеклизы в Среднемархинском районе (300 км к северу от г. Мирный). На его территории найдено три высокоалмазоносные кимберлитовые трубки: Нюрбинская и Ботубинская а также дайкоподобное тело Майское. Они прорывают нижнепалеозойские терригенно-карбонатные породы и на уровне эрозионного среза находятся в нижнеордовикских породах, перекрыты нижнеюрскими отложениями. Отличительной особенностью кимберлитовых тел Накынского поля является высокая концентрация алмазов. Ведущим индикаторным минералом является пироп при практически полном отсутствии пикроильменита.

Нами изучена коллекция (более 250 зерен) ИМК Накынской россыпи, расположенной в пределах Накынского кимберлитового поля. ИМК представлены практически только пиропом, что согласуется с минералогией известных на данной территории кимберлитов.

Практически все пиропы из россыпи Накынского поля характеризуются слабым механическим износом с последующим наложением гипергенной коррозии, связанной со среднепалеозойской корой выветривания (приложение 2). Для большинства корродированных зерен характерно сочетание кубоидного типа растворения с дислокационным. Гипергенная коррозия проявляется на пиробах в различной степени. В большинстве случаев она проявлена слабо, что позволяет оценить степень докорового механического износа как слабую, что характерно для переноса в континентальных условиях (рис.6.6.1).

Часто по коррозионному рельефу развита тонкая механогенная полировка, которая связана с ингрессией морского бассейна вероятно в верхнепалеозойское время (рис.6.6.2). Встречаются единичные зерна со средней и сильной степенью окатанности.

На основании морфологических особенностей изученных пиропов можно опираясь на [Афанасьев и др., 2013] следующим образом реконструировать историю и условия формирования ореолов Накынского поля.

В среднепалеозойское время происходит формирование кимберлитовых тел. Далее в условиях приподнятой суши происходит активная эрозия кимберлитовых тел и формирование ореолов континентального типа, что выразилось в слабом износе ИМК. В ходе позднедевонской трансгрессии эта территория была видимо, островной сушей, т.к. сильный износ не характерен для минералов ореолов; в позднем девоне в условиях влажного тропического климата развивается кора выветривания, что приводит к формированию на пиробах коррозионного рельефа, который частично или полностью скрывает следы докорового механического износа. Необходимо отметить, что поздний девон – это единственный период в геологической

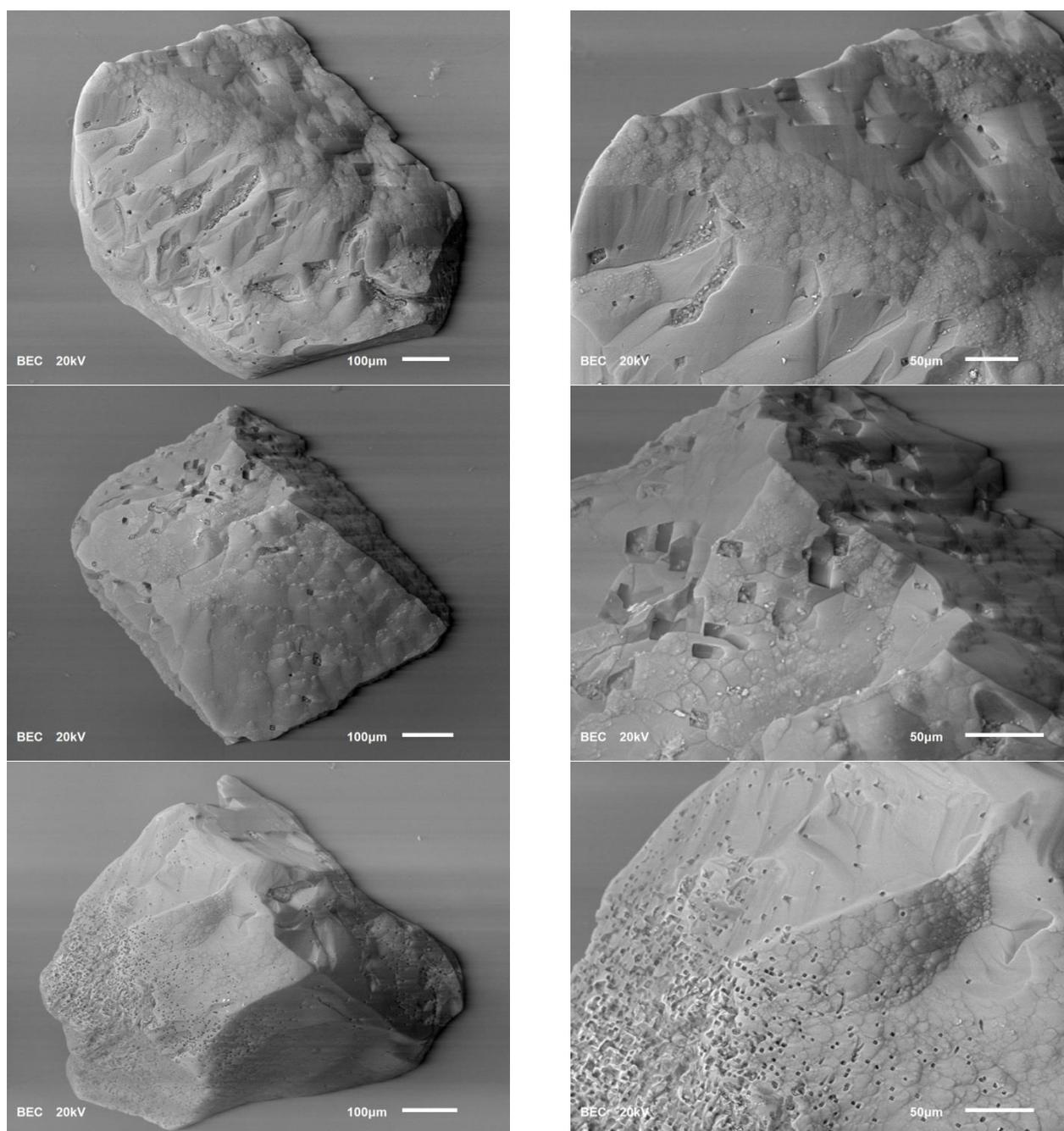


Рис.6.6.1. Пиропы со следами гипергенной коррозии, связанной со среднепалеозойской корой выветривания.

истории фанерозоя, когда на Сибирской платформе развивалась кора выветривания, оставившая следы гипергенных изменений на ИМК; коры выветривания в более поздние эпохи не обеспечивали гипергенное растворение минералов. Следовательно, признаки гипергенных изменений однозначно указывают на среднепалеозойский этап гипергенеза и, соответственно, на среднепалеозойский возраст коренных источников пиропов.

В верхнем палеозое после корообразования произошло наступление моря, которое имело

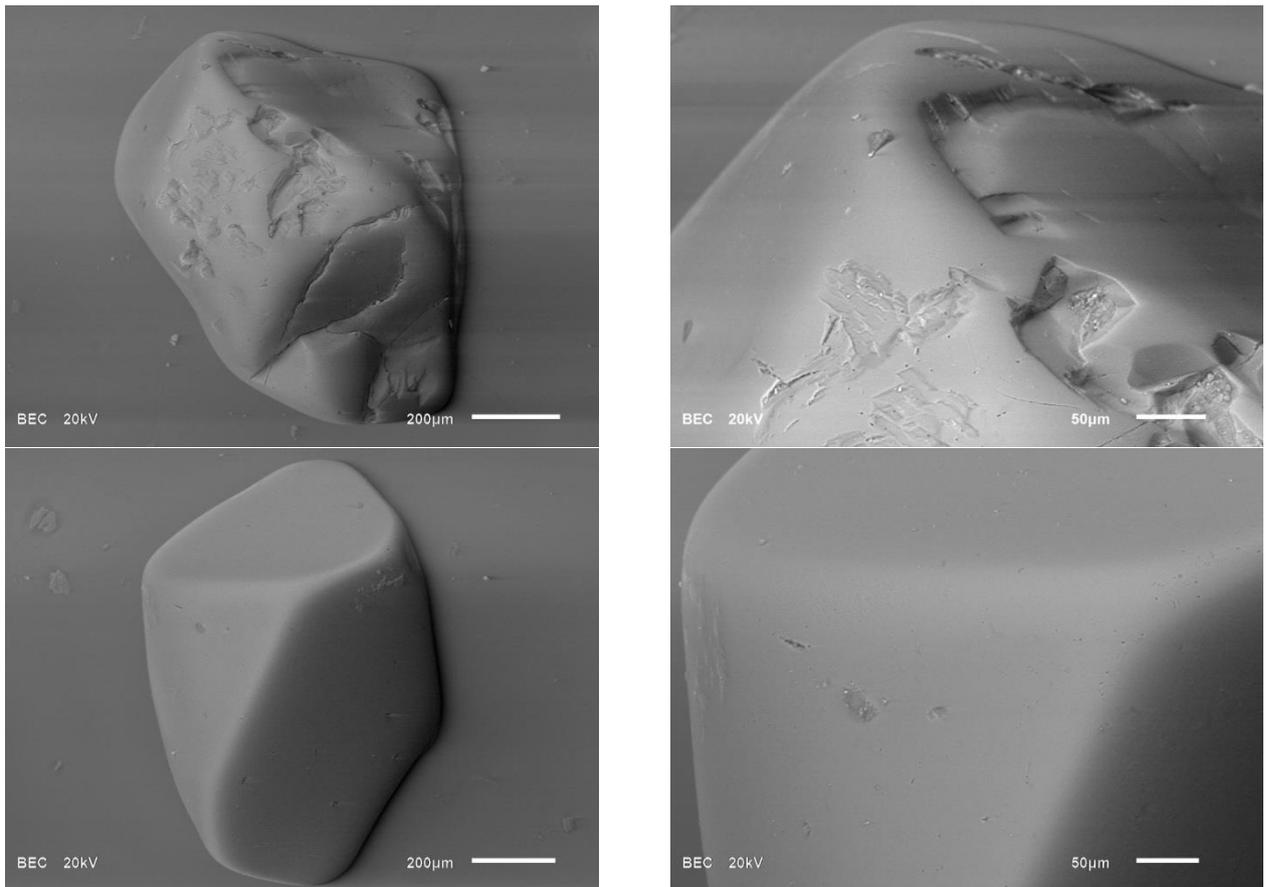


Рис.6.6.2. Механогенная полировка пиропов, связанная с ингрессией морского бассейна.

характер ингрессии, т.е. подтопления суши. В условиях ингрессии существенный износ

В верхнем палеозое после корообразования произошло наступление моря, которое имело характер ингрессии, т.е. подтопления суши. В условиях ингрессии существенный износ минералов не мог осуществиться, поэтому для пиропов характерен слабый износ, механогенная полировка [Афанасьев, 1989]. Второй этап механического износа развивается по гипергенной поверхности и в редких случаях полностью уничтожает ее. Позднее верхнепалеозойский коллектор был полностью размыт, а индикаторные минералы, в том числе алмазы, переотложены в нижнеюрские отложения, которые сейчас являются основным коллектором ИМК и алмазов.

Химический состав пиропов из ореолов Накынского поля отражает максимальное разнообразие парагенезисов. Присутствуют гранаты алмазной ассоциации. Такой состав пиропов характерен для среднепалеозойских алмазоносных кимберлитов [Sobolev et al., 1973] (рис. 6.6.3, приложение 1).

На основании комплекса минералогических критериев оценки возраста, можно утверждать, что кимберлитовые тела Накынского поля имеют среднепалеозойский возраст: не смотря на преимущественно слабый механический износ индикаторных минералов, практически

на всех зернах пиропов фиксируются следы гипергенной коррозии, связанной со среднепалеозойской корой выветривания; распределение химических составов в координатах CaO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [Sobolev et al., 1973] характерно для среднепалеозойских кимберлитов, присутствуют гранаты алмазной ассоциации. Также среднепалеозойский возраст подтверждается изотопными датировками, для трубок Нюрбинская и Ботуобинская 364 млн. лет [Граханов и др., 2015, Агашев и др., 2004]

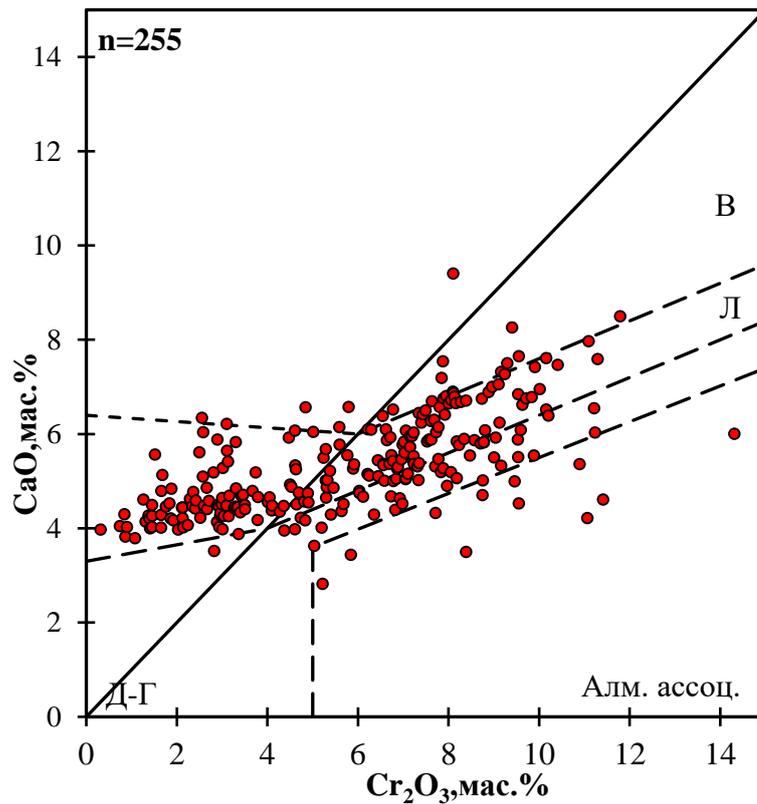


Рис. 6.6.3. Химический состав гранатов Накынского поля. Поля по [Sobolev et al., 1973]: В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм. ассоц. – гранаты алмазной ассоциации.

История развития ореолов ИМК Накынского поля полностью согласуется с историей развития ореолов Якутской алмазоносной провинции.

На основании проведенных исследований ИМК нами оценен возраст коренных источников в ряде потенциально алмазоносных районов: среднепалеозойские коренные источники распространены на Муно-Мархинском междуречье, участках Тарыдак и Мирюга в бассейне р. Подкаменная Тунгуска, Анабаро-Уджинском междуречье, в Накыньском кимберлитовом поле. Триасовые источники предполагаются на северном склоне Оленекского поднятия и в Чомполинском поле (рис. 6.6.4). Наиболее перспективной среди изученных нами является Анабаро-Уджинская площадь, поскольку только на ней весь комплекс

минералогических критериев оценки возраста коренных источников и их потенциальной алмазности по ИМК и алмазам из ореолов указывает на распространение неизвестных среднепалеозойских алмазносных коренных тел. На территориях Муно-Мархинского междуречья и Накынского поля уже имеются известные среднепалеозойские алмазносные кимберлиты, соответственно, наши данные лишь подтверждают изотопные датировки. На участках Тарыдак и Мирюга коллектор ИМК, а, следовательно, и коренные источники, питающие его, перекрыты более поздними осадками, что значительно усложняет поисковую обстановку. На территории Чомполинского поля распространены неалмазносные триасовые коренные источники. На севере Оленекского поднятия мы предполагаем лишь убогоалмазносные источники триасового возраста.

Эти данные позволяют сформулировать третье защищаемое положение:

*На Анабаро-Уджинском междуречье, участках Тарыдак и Мирюга в бассейне р. Подкаменная Тунгуска представлены ИМК типичные для среднепалеозойских коренных источников, а на севере Оленекского поднятия и в Чомполинском поле – для триасовых. Наиболее перспективной на обнаружение среднепалеозойских алмазносных кимберлитов является Анабаро-Уджинская площадь.*

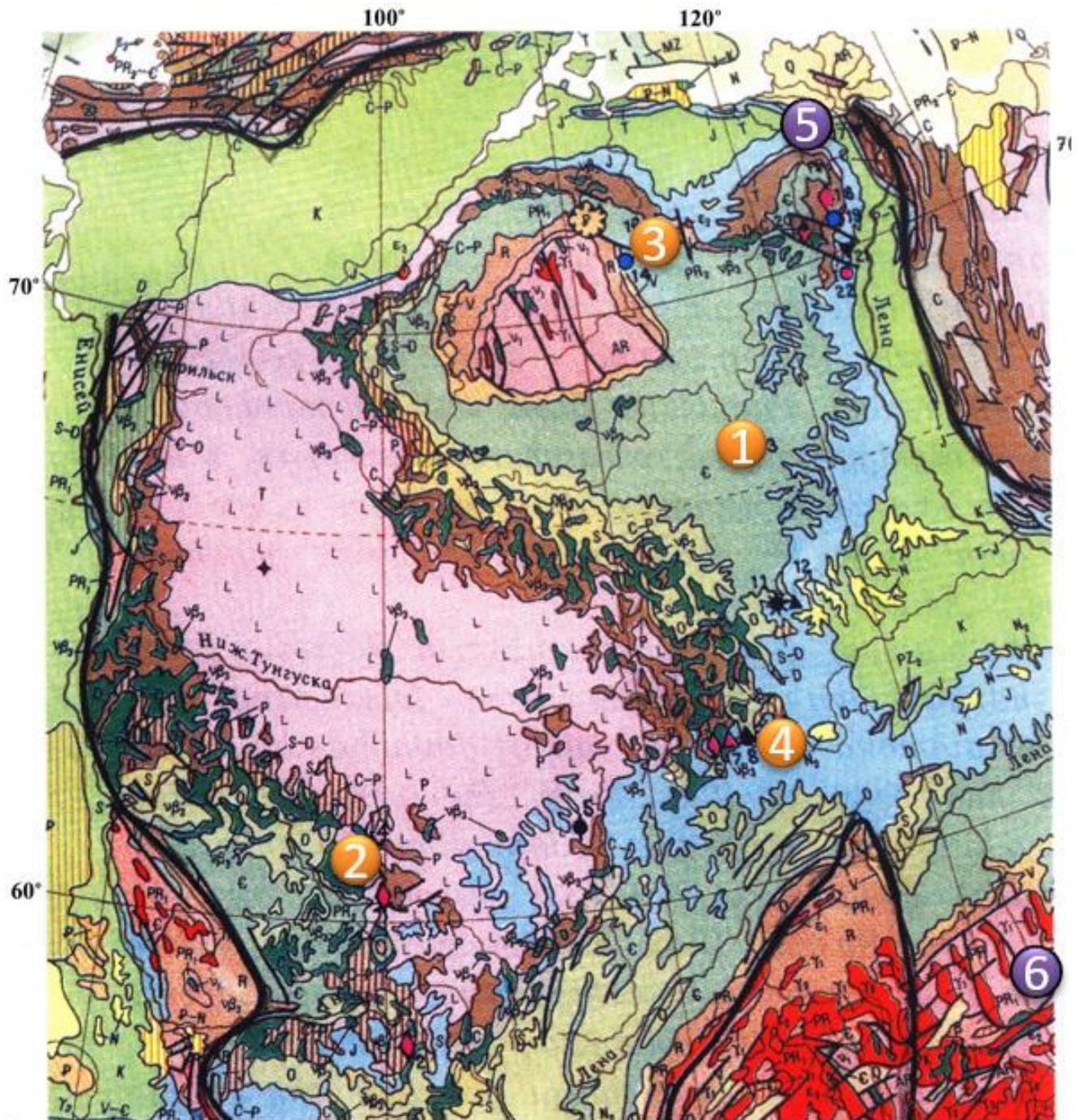


Рис. 6.6.4. Предполагаемый возраст коренных источников ИМК в изученных районах. Усл. обозначения: 1 – Муно-Мархинское междуречье, 2 - участки Тарыдак и Мирюга в бассейне р. Подкаменная Тунгуска, 3 – Анабаро-Уджинское междуречье, 4 – Накынское кимберлитовое поле, 5 – северный склон Оленекского поднятия, 6 – Чомполинское поле; оранжевым цветом отмечены площади распространения среднепалеозойских источников, фиолетовым – триасовых (Геологическая карта (фрагмент) [Атлас СССР, 1983] с дополнениями автора)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в данной работе исследования дополняют ранее полученные результаты по поисковой минералогии алмаза и сводятся к следующему:

1. На природном объекте (Верхнемунское кимберлитовое поле) показано, что при размыве кимберлитов дальность транспортировки индикаторных минералов кимберлитов в аллювиальных условиях может превышать 150 км, сопровождаясь одновременно падением концентрации минералов по мере удаления от источника, поэтому при использовании одинаковых объемов опробования индикаторные минералы улавливаются на ограниченном расстоянии от источника.

2. Онтогенический и типоморфный анализы индикаторных минералов кимберлитов, опирающиеся на историю развития ореолов Сибирской платформы, позволили разработать комплекс минералогических критериев оценки возраста кимберлитов по их индикаторным минералам из россыпей:

-среднепалеозойские кимберлиты диагностируются по признакам повышенного механического износа, гипергенной коррозии минералов и специфике составов пиропов, в том числе алмазной ассоциации;

-триасовые кимберлиты диагностируются по преимущественно слабому механическому износу гранатов, отсутствию их гипергенной коррозии, сокращению парагенетического разнообразия пиропов диапазона их хромистости.

-юрско-меловые кимберлиты диагностируются по преимущественно слабому механическому износу ИМК, отсутствию их гипергенной коррозии и специфическому составу ассоциаций пиропов, который связан с преобразованием литосферы в мезозое в результате глубинного метасоматоза.

3. Использование комплекса критериев оценки возраста по индикаторным минералам из ореолов позволило надежно обосновать возраст коренных источников для ряда изученных площадей, тем самым выделив из них наиболее перспективные с кимберлитами среднепалеозойского возраста. Данный результат является весомым вкладом в практику геологоразведочных работ на алмазы.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Afanasiev V. P., Pokhilenko N. P. Wear of diamond: an experimental study and field evidence // Proceedings of 10th International Kimberlite Conference, New Delhi. - 2013. – P. 317-321.
2. Agashev A.M., Watanabe T., Budaev D.A., Pokhilenko, N.P., Fomin, A.S., Maehara, K., Maeda, J. Geochemistry of Nakyn field kimberlites: evidence for an unique source composition // Geology. - 2001. - V. 3. -P. 267–270.
3. Alibert C., Albarede F. Relationships between mineralogical, chemical, and isotopic properties of some North American kimberlites //Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1988. – V. 93. – №. B7. – P. 7643-7671.
4. Cocks L.R.M., Torsvik T.H. Siberia, the wandering northern terrane, and its changing geography through the Palaeozoic // Earth-Science Reviews. - 2007. – V. 82. - P. 29–74.
5. Davies R. M., O'reilly S. Y., Griffin W. L. Diamonds from Wellington, NSW: insights into the origin of eastern Australian diamonds //Mineralogical Magazine. – 1999. – V. 63. – №. 4. – P. 447-471.
6. Hell A. J. et al. The geology, age, mineralogy and near surface features of the Merlin Kimberlites, Northern Territory, Australia //Extended abstract 8th International Kimberlite Conference, Vancouver. – 2003. – P. 273.
7. Jaques A. L. et al. The diamond-bearing ultrapotassic (lamproitic) rocks of the West Kimberley region, Western Australia //Developments in Petrology. – Elsevier. - 1984. – V. 11. – P. 225-254.
8. Jaques A. L. The kimberlites and lamproites of Western Australia //Geol. Surv. W. Austral. Bull. – 1986. – V. 132. – P. 268.
9. Kjarsgaard B. A. Kimberlite pipe models: significance for exploration //Proceedings of exploration. – 2007. – V. 7. – P. 667-677.
10. Kuenen P.H. Experimental abrasion 4: eolian action // The Journal of Geology. – 1960. – Vol. 68. – №. 4. – P. 427-449.
11. Kuenen P.H. Experimental abrasion on sand // Amer. J. Sci. – 1959. – V.257. – №. 3. – P. 172-190.
12. Kumar A. et al. Rb-Sr ages of Proterozoic kimberlites of India: evidence for contemporaneous emplacement //Precambrian Research. – 1993. – V. 62. – №. 3. – P. 227-237.
13. Macrae N. D. et al. A diamondiferous lamprophyre dike, Gibson Lake area, Northwest Territories //International Geology Review. – 1995. – V. 37. – №. 3. – P. 212-229.

14. Nikolenko E.I., Lobov, K.V., Agashev A.M., Sharygin I.S., Nikolenko A.M.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology and new mineralogical and geochemical data from lamprophyres of Chompolo field (South Yakutia, Russia) // Minerals. - 2020. – V. 10. - №. 10. – P. 886.
15. Pidgeon R. T., Smith C. B., Fanning C. M. Kimberlite and lamproite emplacement ages in Western Australia // Kimberlites and related rocks. – 1989. – V. 1. – P. 382-391.
16. Pokhilenko N. P. et al. Carbonatite metasomatism of peridotite lithospheric mantle: implications for diamond formation and carbonatite-kimberlite magmatism // Russian Geology and Geophysics. – 2015. – V. 56. – №. 1-2. – P. 280-295.
17. Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Kuligin S.S., Shimizu N. Peculiarities of distribution of pyroxenite paragenesis garnet in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle // Proc. 7 IGC. – Cape Town. - 1999. –V. 2 – P. 689–698.
18. Sobolev N.V., Lavrent'ev Yu.G., Pokhilenko N.P., Usova L.V. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // Contrib. Mineral. Petrol. – 1973. – V. 40. – P. 39–52.
19. Sobolev N.V., Yefimova E.S., Koptil V.I. Mineral inclusions in diamonds in the northeast of the Yakutian diamondiferous province // Proceedings of the VII International Kimberlite Conference. Cape Townю – 1999. - V. 2. – P. 816—823.
20. Агашев А.М., Похиленко Н.П., Толстов А.В., Поляничко В.В., Мальковец В.Г., Соболев Н.В. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции // Докл. РАН. - 2004. - Т. 399. - № 1. - С. 95—99.
21. Аргунов К.П., Зинчук Н.Н., Темников И.А. Типоморфные особенности алмазов юго-западной части Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков коренных месторождений алмазов). «Методы прогноза и поисков алмазов на юге Восточной Сибири» // Тез. докл., Иркутск. – 1990. - С. 50-51.
22. Афанасьев В.П. Генезис пирамидально-черепитчатого рельефа растворения на гранатах пироп-альмандинового ряда // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. – 1985. – Ч. 114. – вып. 1. – С. 73–80.
23. Афанасьев В.П. Закономерности эволюции кимберлитовых минералов и их ассоциаций при формировании шлиховых ореолов // Геология и геофизика. – 1991. – № 2. – С. 78–85.
24. Афанасьев В.П. Типизация шлихо-минералогических поисковых обстановок Якутской алмазоносной провинции // Сов. геология – 1989. – № 1. – С. 24–33.

25. Афанасьев В.П., Агашев А.М., Похиленко Н.П. Основные черты истории и условий формирования ореолов индикаторных минералов кимберлитов Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. - 2013. - Т. 55. - № 4. - С. 295-304.
26. Афанасьев В.П., Бабенко В.В. Миграционные свойства кимберлитовых минералов // Докл. АН СССР. - 1988. - Т. 303. - № 3. - С. 714-718.
27. Афанасьев В.П., Борис Е.И. Некоторые закономерности формирования древних ореолов рассеяния кимберлитовых минералов // Сов. Геология, 1984. - № 6. - с. 92-98.
28. Афанасьев В.П., Варламов В.А., Гаранин В.К. Зависимость износа кимберлитовых минералов от условий и дальности транспортировки // Геология и геофизика. - 1984. - № 10. - С. 119-125.
29. Афанасьев В.П., Горайнов С.А., Елисеев А.П. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Надолинный В.А., Сонин В.М., Рылов Г.М. Изучение алмазов в геолого-разведочном комплексе: Методическое пособие // Отв. Ред. Н.Н. Зинчук. - Якутск: ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН». - 2004. - 300 с.
30. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология руд. месторождений. - 1999. - Т. 41. - № 3. - С. 281-288.
31. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов // Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео». - 2001а. - 276 с.
32. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Поисковая минералогия алмаза. - Новосибирск, Академическое изд. «Гео». - 2010. - 650 с.
33. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П., Кривонос В.Ф., Яныгин Ю.Т. Роль карста в формировании россыпной алмазоносности Муно-Мархинского междуречья (Якутская алмазоносная провинция, Россия) // Геология руд. месторождений. - 2001б. - № 3. - С. 262-267.
34. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Харьков А.Д., Соколов В.Н. Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минерогения зоны гипергенеза. - М.: Наука. - 1980. С. 45-54.
35. Афанасьев В.П., Лобанов С.С., Похиленко Н.П., Коптиль В.И., Митюхин С.И., Герасимчук А.В., Помазанский Б.С., Горев Н.И. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. - 2011а. - Т. 52. - № 3. - С. 335-353.

36. Афанасьев В.П., Николенко Е.И., Лобов К.В., Зольников И.Д., Картозия А.А., Глушкова Н.В. Геолого-геоморфологические особенности строения и история формирования Ямалахского горста (южная Якутия) // Отечественная геология. - 2020. - № 6. - С. 80-87.
37. Афанасьев В.П., Николенко Е.И., Тычков Н.С., Титов А.Т., Толстов А.В., Корнилова В.П., Соболев Н.В. Механический износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49. - № 2. – С. 120–127.
38. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Вавилов М.А., Желонкин Р.Ю., Земнухов А.Л., Барабаш Е.О., Самданов Д.А., Федорова Е.И., Малыгина Е.В. Перспективы коренной алмазоносности правобережья реки Анабар (северо-восток Сибирской платформы) // Отечественная геология. – 2019а. - № 6. - С. 3-16.
39. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Егорова Е.О., Линденблот Е.С. Древнейшие кристаллы алмаза Сибирской платформы // Доклады Академии наук. - 2019. - Т. 489. - № 6. - С. 611-615.
40. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Лобанов С.С. Россыпная алмазоносность Сибирской платформы: возрастные уровни и возможные источники питания //Геология рудных месторождений. – 2011б. - Т. 53. - № 6. - С. 538-542.
41. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Логвинова А.М., Зинчук Н.Н., Ефимова Э.С., Сафьянников В.И., Красавчиков В.О., Подгорных Н.М., Пругов В.П. Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой “ложных” индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41. – № 12. – С. 1729–1741.
42. Афанасьев В.П., Самданов Д.А., Зольников И.Д., Глушкова Н.В., Егорова Е.О. Поиски месторождений алмазов: роль рельефа в формировании поисковых обстановок // Отечественная геология. - 2012. - №3. – С. 25-30.
43. Афанасьев В.П., Сибирцев Ю.М., Егоров А.Ю. О кимберлитовых минералах из древних прибрежно-морских коллекторов // Изв. вузов. Геология и разведка. - 1986. – № 2. – с. 48–55.
44. Афанасьев В.П., Харьков А.Д. Об агрегатном пикроильмените из кимберлитов // Геология и геофизика. - 1980. – № 4. – С. 37–46.
45. Афанасьев В.П., Чан Чонг Хоа, Нго Тхи Фьонг, Нгуен Чонг Ием, Чиков Б.М. Перспективы алмазоносности территории Вьетнама // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. - Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2001. - С. 454-461

46. Белов Н.В., Зхус И.Д., Данилин А.Н., Шмайс И.И. Влияние структурных дефектов на скорость постседиментационных преобразований полимиктовых песчано-глинистых пород // Докл. АН СССР. – 1978. – Т. 252. - № 2. – С. 405– 407.
47. Бобриевич А. П., Бондаренко М. Н., Гневушев М. А. Алмазные месторождения // Якутии. М. – 1959. – 525 с.
48. Богатиков О.А., Рябчиков И.Д., Кононова В.А., Махоткин И.Л. Лампроиты: моногр. - АН СССР. Ин-т геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. – Москва: Наука. - 1991. - 301 с.
49. Брахфогель Ф.Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы // Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР. - 1984. – 128с.
50. Веймарн А.Б., Корнеева С.А. Глобальные геологические события на рубеже франского и фаменского веков // Бюлл. Моск. об"ва испытателей природы. Отд. геол. - 2007. - Т. 82. - Вып. 1. - С. 48–68.
51. Вишневский С.А., Афанасьев В.П., Аргунов К.П., Пальчик Н.А. Импактные алмазы - их особенности, происхождение и значение // Новосибирск. Изд. СО РАН, НИЦ ОИГГМ. - 1997. - 53 с. (рус-англ.).
52. Гайдук В.В. Виллойская среднепалеозойская рифтовая система // Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР. - 1988. – 127 с.
53. Галимов Э.М. Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования // Геохимия. – 1984. – № 8. – С. 1091–1117.
54. Геологическая карта СССР. Масштаб: 1:16000000. 1983 г. Атлас СССР. Карты природы. Геологическая карта // Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. - Москва. - 1983. - Стр. 86-87
55. Гинзбург А.И., Кузьмин В.И., Сидоренко Г.А. Минералогические исследования в практике геолого-разведочных работ // М.: Недра. - 1981. – 240 с.
56. Горина И.Ф. Об источниках алмазов северо-востока Сибирской платформы. //Россыпная алмазоносность Средней Сибири (сборник статей). Л., НИИГА. – 1973. - с. 49-54.
57. Граханов С. А. и др. Россыпи алмазов России // Новосибирск, Академическое изд. «Гео». – 2007. – 457 с.
58. Граханов С.А. Алмазоносность россыпей северо-востока Сибирской платформы и перспективы поисков их коренных источников // Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – Воронеж. - 2001. – 16 с.

59. Граханов С.А., Зинчук Н.Н., Соболев Н.В. Возраст прогнозируемых коренных источников алмазов на северо-востоке Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 2015. - Т.465. - №-6 - С.715-720.
60. Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. – Львов: Изд-во Львов. ун-та. - 1961. – 284 с.
61. Доусон Д. Кимберлиты и ксенолиты в них: моногр. – Москва. - Издательство «Мир». – 1983. – 300с.
62. Дэвис Г. Л., Соболев Н. В., Харьков А. Д. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные уран-свинцовым методом по цирконам //Докл. АН СССР. – 1980. – Т. 254. – №. 1. – С. 175-179.
63. Егорова Е.О., Афанасьев В.П., Похиленко Н.П. О среднепалеозойском кимберлитовом магматизме северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. - 2016. - Т.470. - № 6. - С.692-695.
64. Егорова Е.О., Афанасьев В.П., Самданов Д.А. Закономерности транспортировки индикаторных минералов при формировании механических ореолов рассеяния. //Руды и металлы. - 2013. - № 6. - С. 35-39.
65. Зайцев А. И., Смелов А. П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции. – 2010. – 108 с.
66. Зинчук Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков и разработки алмазных месторождений) // Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та. - 1994. – 240 с.
67. Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П. Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия вузов. Геология и разведка. – 1998. – № 2. – С. 66–71.
68. Килижеков О.К., Толстов А.В. Закономерности образования и размещения промышленных россыпей алмазов в Накынском кимберлитовом поле (Якутская алмазоносная провинция) // Наука и образование. – 2017. - № 1 (85) - С. 12-20.
69. Кинни П.Д., Гриффин Б.Дж., Хеамэн Л.М., Брахфогель Ф.Ф., Специус З.В. Определение U-Pb возрастов перовскитов из якутских кимберлитов ионным массспектрометрическим (SHRIMP) методом // Геология и геофизика. - 1997. – Т. 38. - № 1. – С. 91–99.
70. Комаров А. Н., Илупин И. П. Геохронология кимберлитов Сибирской платформы //Геохимия. – 1990. – №. 3. – С. 365-372.

71. Константиновский А.А. Нижнеленский погребенный массив и некоторые вопросы размещения кимберлитов на северо-востоке Сибирской платформы // Геотектоника. - 1979. – №1. - С. 48–57.
72. Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений // Автореферат диссерт...канд. г-м. наук. - Новосибирск. - 1994. - ИМП СО РАН. - 34с.
73. Королюк В.Н., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В., Нигматулина Е.Н. О точности электронно-зондового анализа породообразующих минералов на микроанализаторе JXA-8100 // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49. - № 3. - С. 221—225.
74. Костровицкий С.И., Травин А.В., Алымова Н.В., Яковлев Д.А. Кимберлиты и мегакристная ассоциация минералов, изотопно-геохимические исследования // Изотопные системы и время геологических процессов. – СПб.: ИП Каталкина, - 2009. – Т.1. – С. 260-261.
75. Кухаренко А. А. Алмазы Урала. // М.: Госгеолтехиздат. - 1955. – 514 с.
76. Кухаренко А.А. Минералогия россыпей //М.: Госгеолтехиздат. - 1961. – 318 с.
77. Левченков О.А., Гайдамако И.М., Левский Л.К. и др. U" Рb возраст циркона из кимберлитовых трубок "Мир" и "325 лет Якутии" // Докл. РАН. - 2005. - Т. 400. - № 2. - С. 233–235.
78. Масайтис В. Л., Михайлов М. В., Селивановская Т. В. Попигайская котловина-взрывной метеоритный кратер //Докл. АН СССР. – 1971. – Т. 197. – №. 6. – С. 1390.
79. Масайтис В.Л., Мащак М.С., Райхлин А.И., Селивановская Т.В., Шафрановский Г.И. Алмазоносные импактиты Попигайской астроблемы // СПб: Изд. ВСЕГЕИ. – 1998. - 179 с.
80. Метелкина М. П., Прокопчук Б.И., Суходольская О.В., Францессон Е.В. Геологические предпосылки алмазоносности докембрийских терригенных формаций Сибирской платформы //Геология и геофизика. – 1975. – №. 12. – С. 82-89.
81. Метелкина М.П., Прокопчук Б.И., Суходольская О.В., Францессон Е.В. Докембрийские алмазоносные формации мира // М., Недра. – 1976. - 134с.
82. Мудрик Фондовые материалы. – 1988.
83. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза // М., Наука. – 1973. - 223с.
84. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. 2-е издание // М., Наука. – 1984. - 264 с.
85. Плотникова М.И., Кардопольцева О.И., Салтыков О.Г, Уманец В.Н., Глушковский И.Б. Стратиграфия и литология "водораздельных галечников" Мархино-Тюнгского

- междуречья и палеогеография времени их накопления в связи с историей формирования алмазоносных россыпей бассейна среднего течения реки Марха // Геология алмазных месторождений. Изд.: АН СССР. - 1963. - С. 123-141.
86. Похиленко Н.П., Соболев Н.В. Некоторые аспекты эволюции литосферной мантии северо-восточной части Сибирской платформы в связи с проблемой алмазоносности разновозрастных кимберлитов // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов: Матер. научно-практ. конференции, посвящ. 30-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК "АЛРОСА", Мирный. – 1998. - С. 65-67
87. Похиленко Н.П., Соболев Н.В. Сибирский суперплюм и эволюция литосферной мантии Сибирской платформы в фанерозое // Эволюция петрогенеза и дифференциация вещества Земли: Материалы Международного (X всероссийского) петрографического совещания "Петрография XXI века". Изд-во Кольского научного центра РАН. – 2005. - С. 165-167.
88. Самданов Д. А. Геоморфологические и минералогические аспекты прогнозирования коренной алмазоносности Муно-Мархинского междуречья (Якутия) // Диссер. – Ин-т геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. - 2016. – 141 с.
89. Сапожников Д. Г. Экспериментальные исследования по разложению минералов органическими кислотами // М.:Наука. – 1968. – 117 с.
90. Секерин А. П., Владимиров Б. М., Лащенов В. А. Особенности кимберлитового магматизма Присяянья // Проблемы кимберлитового магматизма. – 1989. – С. 23-28.
91. Секерин А.П., Меньшагин Ю.В., Лащенов В.А. Докембрийские лампроиты Присяянья // Докл. АН. – 1993. - Т.329. - №3. - С. 328-331.
92. Секерин А.П., Меньшагин Ю.В., Лащенов В.А. Присяянская провинция высококалийных щелочных пород и лампроитов // Докл. АН. – 1995. - Т.342. - №1. - С. 82-86.
93. Соболев В. С. Геология месторождений Африки, Австралии, о-ва Борнео и Северной Америки // М.: Госгеолтехиздат. – 1951. – Т. 126. – 126 с.
94. Соболев В. С. Кимберлитовая формация северной части Сибирской платформы // Сибирская платформа и ее северное обрамление. – М. – 1962. – Т. 1. – С. 341-416.
95. Соболев Н. В. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Каминский Ф.В., Тарасюк О.Н., Хенни А. Пиропы и алмазы Алжирской Сахары // Докл. РАН. – 1992. – Т. 325. – №. 2. – С. 367-373.
96. Соболев Н. В., Галимов Э.М., Ефимова Э.С., Соболев Е.В., Усова Л.В. Кристаллические включения, изотопный состав углерода, азотные центры алмазов и особенности состава

- граната из трубки Маджгаван (Индия) // Геология и геофизика. – 1993. – Т. 34. – №. 12. – С. 85-91.
97. Соболев Н.В., Галимов, Э.М., Смит, К.Б., Ефимова, Э.С., Мальцев, К.А., Холл, Э.Е., Усова, Л.В. Сравнительная характеристика морфологии, включений и изотопного состава углерода алмазов аллювиальных отложений Кинг Джордж Ривер и лампроитового месторождения Аргайл (Западная Австралия) // Геология и геофизика. – 1989. – №. 12. – С. 3-19.
98. Соколов Б.Н. Образование россыпей алмазов. Основные проблемы // М.: Наука. - 1982 - 96с.
99. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза (2-е изд.) // М.: Изд-во АН СССР. – 1962. – Т. 1. – 212 с.
100. Тимофеев Д.А., Уфимцев Г.Ф., Онухов Ф.С. Терминология общей геоморфологии // М.: Наука. - 1977. - С. 33, 100.
101. Трофимов В. С. Основные закономерности размещения и образования алмазных месторождений на древних платформах и в геосинклинальных областях // Недра. - 1967.
102. Трофимов В.С. Геология месторождений природных алмазов // М.: Недра. – 1980. - 304с.
103. Ушаков С. А., Ясаманов Н. А. Дрейф материков и климаты Земли. // М.: Мысль, 1984.
104. Ферсман А.Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых // М.; Л.: Изд-во АН СССР. - 1939. – 446 с.
105. Ферхуген Дж., Тернер, Ф., Вейс, Л., Вархафтиг, К., Файф, У. Земля. Введение в общую геологию // Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 845 с.
106. Харьков А. Д. Минералогические основы поисков алмазных месторождений // М.:Недра. – 1978. – 136 с.
107. Харьков А.Д., Вологовский А.Г. О природе скульптур на зернах пироба из осадочных пород // Минерал. сборник Львов. ун-та. – 1968. – № 22. - Вып. 4. – С. 399–402.
108. Чумак М. А., Бартошинский З. В. Якутит – новая разновидность алмаза // Геолог Якутии. – 1968. – №. 27. – С. 29-38.
109. Шамшина Э.А. Коры выветривания кимберлитовых пород Якутии // Новосибирск: Наука. - 1979. — 151 с.
110. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. // М.: Недра. - 1978. – 286 с.
111. Шварцев С.Л. Факторы, контролирующие геохимическую направленность выветривания горных пород // Кора выветривания и гипергенное рудообразование. – М.: Недра. - 1977. – С. 133–139.

112. Шпунт Б. Р., Шамшина Э. А. Поздневендские калиевые щелочные вулканы Оленекского поднятия (северо-восток Сибирской платформы) // Докл. АН СССР. – 1989. – Т. 7. – №. 3. – С. 678-682.
113. Шумилов Ю.В. Физико-химические и литогенетические факторы россыпеобразования // М.: Наука, 1981. – 270 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

## Химический состав гранатов из ореолов ИМК Сибирской платформы.

Верхнемунское кимберлитовое поле*коса Аэродромная*

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	176	176	176	176
x	3,33	21,28	4,56	8,06
s	2,04	0,99	0,71	1,24
min	0,21	16,20	1,29	6,15
max	10,67	24,90	8,03	12,95

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
184	176	38	7	1	68	8
	95,65%	21,59%	3,98%	0,57%	38,64%	4,55%

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Total
0,03	9,86	7,84	20,59	21,9	39,69	99,91
0,03	13,84	6,47	16,8	22,12	40,62	99,88
0,04	21,85	3,88	7,92	23,55	42,68	99,92
0,05	14,79	5,9	16,17	22,15	40,81	99,87
0,06	11,53	10,57	14,62	22,69	40,51	99,98
0,14	18,18	4,42	12,7	22,79	41,66	99,89
0,15	19,36	4,3	12,15	22,01	41,8	99,77
0,16	20,54	3,37	10,88	22,75	42,15	99,85
0,19	19,55	4,22	12,3	21,68	41,78	99,72
0,21	21,14	4,73	8,93	22,4	42,37	99,78
0,27	19,66	4,43	12,25	21,3	41,76	99,67
0,35	18,45	4,17	12,95	22,31	41,62	99,85
0,38	18,8	4,97	11,87	22,05	41,73	99,8
0,42	21,88	4,14	8,91	21,95	42,42	99,72
0,43	22,14	4,24	8,44	21,95	42,5	99,7
0,47	18,92	5,3	11,17	22,16	41,81	99,83
0,48	21,33	4,26	9,52	21,87	42,28	99,74
0,54	21,49	4,21	9,69	21,52	42,25	99,7
0,59	21,97	4,23	8,72	21,79	42,43	99,73
0,59	19,87	4,47	11,46	21,49	41,86	99,74
0,65	22	4,27	8,44	21,91	42,46	99,73
0,68	20,06	4,63	11,29	21,16	41,86	99,68

0,76	19,57	4,68	11,12	21,8	41,86	99,79
0,78	20,47	4,39	10,65	21,45	42	99,74
0,8	20,16	4,43	10,45	21,95	42,02	99,81
0,84	21,95	4,28	8,45	21,78	42,43	99,73
0,89	21,6	4,11	9,2	21,65	42,3	99,75
0,91	20,66	4,55	10,56	21	41,98	99,66
1,01	21,35	4,5	8,55	22,05	42,35	99,81
1,02	21,95	4,35	8,36	21,64	42,41	99,73
1,03	21,1	4,35	9,42	21,67	42,2	99,77
1,03	21,68	4,31	9,28	21,13	42,25	99,68
1,06	21,49	4,36	9,45	21,11	42,2	99,67
1,1	21,04	4,41	9,77	21,28	42,12	99,72
1,1	21,25	4,33	9,53	21,34	42,18	99,73
1,11	20,88	4,44	10,01	21,2	42,07	99,71
1,16	21,22	4,41	9,68	21,1	42,13	99,7
1,2	21,67	4,3	8,89	21,37	42,29	99,72
1,21	21,57	4,36	9,06	21,25	42,25	99,7
1,22	21,18	4,41	9,17	21,58	42,22	99,78
1,26	21,53	4,37	9,02	21,51	42,24	99,93
1,28	21,11	4,43	9,42	21,36	42,16	99,76
1,32	22,62	3,87	7,09	22,29	42,66	99,85
1,32	21,44	4,47	8,52	21,73	42,32	99,8
1,33	21,29	4,39	9,32	21,22	42,18	99,73
1,37	22,3	5,18	6,15	22,14	42,68	99,82
1,37	22,07	4,14	8,73	21,05	42,32	99,68
1,38	22,35	4,31	8,09	21,14	42,43	99,7
1,39	21,8	4,42	8,52	21,28	42,32	99,73
1,39	21,33	4,43	8,6	21,76	42,29	99,8
1,44	21,11	4,5	9,14	21,39	42,18	99,76
1,45	21,47	4,31	8,66	21,61	42,29	99,79
1,51	22,28	4,28	8,16	21,09	42,4	99,72
1,51	22,36	3,9	6,68	22,8	42,7	99,95
1,52	21,82	4,4	8,56	21,07	42,29	99,66
1,54	20,73	4,53	9,46	21,44	42,09	99,79
1,58	21,72	4,36	8,75	21,05	42,26	99,72
1,6	21,19	4,08	8,49	22,22	42,31	99,89
1,63	22,5	4,2	7,68	21,24	42,48	99,73
1,63	22,18	4,22	8,12	21,2	42,39	99,74
1,64	22,08	4,19	8,21	21,25	42,37	99,74
1,65	21,64	4,26	8,27	21,66	42,34	99,82
1,71	21,3	4,18	8,43	21,94	42,3	99,86
1,75	22,04	4,27	7,77	21,55	42,42	99,8

## проба МН - 54

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	158	158	158	158
x	2,93	20,98	4,55	8,35
s	2,07	0,93	0,56	1,48
min	0,23	13,14	1,82	5,94
max	9,14	23,40	6,39	19,10

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
158	158	32	7	0	70	4
	100,00%	20,25%	4,43%	0,00%	44,30%	2,53%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
42,207	0,431	22,44	0,233	21,281	3,888	8,69	0,308	0,078	99,556
42,256	0,918	21,411	0,268	20,503	4,557	9,597	0,247	0,111	99,868
42,187	0,957	21,259	0,401	20,122	4,283	10,46	0,24	0,142	100,051
41,213	1,021	20,772	0,485	20,088	4,298	10,635	0,275	0,101	98,888
41,567	1,244	20,475	0,592	19,804	4,353	11,545	0,303	0,164	100,047
41,669	1,173	20,43	0,593	19,16	4,424	11,364	0,311	0,113	99,237
42,64	0,824	21,15	0,612	21,418	4,211	8,665	0,255	0,084	99,859
42,024	1,052	20,74	0,613	21,273	4,228	9,276	0,239	0,132	99,577
42,331	0,794	21,304	0,624	21,285	4,317	8,654	0,272	0,116	99,697
40,203	0,06	21,744	0,644	13,141	5,217	19,097	0,42	0	100,526
41,723	1,096	20,742	0,644	20,146	4,305	11,151	0,29	0,15	100,247
41,567	1,14	20,478	0,693	19,939	4,44	10,857	0,295	0,112	99,521
42,143	1,116	20,784	0,693	20,147	4,307	10,613	0,315	0,133	100,251
41,806	1,285	20,241	0,702	20,078	4,513	11,156	0,301	0,142	100,224
41,933	1,267	20,357	0,776	20,31	4,506	10,898	0,247	0,124	100,418
42,198	0,665	21,921	0,796	21,002	4,493	8,348	0,291	0,134	99,848
42,06	1,042	20,745	0,829	20,493	4,4	10,298	0,281	0,153	100,301
41,52	1,091	20,584	0,845	20,492	4,398	10,397	0,288	0,148	99,763
41,696	1,101	20,446	0,857	20,165	4,523	10,487	0,291	0,142	99,708
42,262	1,126	20,626	0,86	20,017	4,429	10,253	0,284	0,171	100,028
41,893	1,162	20,527	0,863	20,544	4,542	10,02	0,267	0,143	99,961
42,096	0,964	20,704	0,866	20,825	4,279	9,456	0,22	0,124	99,534
41,966	1,101	20,434	0,871	20,265	4,448	10,449	0,262	0,109	99,905
42,187	0,939	20,874	0,897	20,915	4,237	9,53	0,263	0,098	99,94
41,694	1,107	20,148	0,918	20,52	4,458	10,04	0,25	0,117	99,252
41,766	1,056	20,367	0,924	20,748	4,406	9,721	0,266	0,133	99,387
42,293	0,792	20,895	0,941	21,695	4,169	8,635	0,267	0,131	99,818
42,177	1,033	20,76	0,946	20,519	4,343	9,936	0,281	0,113	100,108
42,112	1,068	20,538	0,95	20,982	4,392	9,646	0,275	0,09	100,053
42,317	0,891	20,851	0,981	21,445	4,242	8,52	0,251	0,127	99,625
41,932	0,977	20,551	0,994	20,694	4,346	9,803	0,256	0,112	99,665
42,296	0,913	20,662	1,001	21,611	4,273	8,634	0,254	0,09	99,734
41,735	1,228	20,162	1,006	20,768	4,611	10,205	0,258	0,113	100,086
42,142	1,223	20,333	1,037	20,541	4,588	9,926	0,24	0,115	100,145
42,015	1,038	20,635	1,049	21,001	4,256	9,447	0,251	0,1	99,792
42,423	0,84	20,97	1,064	21,843	4,113	8,445	0,242	0,105	100,045

41,908	1,046	20,34	1,087	21,1	4,338	9,218	0,238	0,145	99,42
41,824	1,091	20,195	1,144	20,744	4,365	9,631	0,267	0,105	99,366
42,031	0,956	20,583	1,15	21,671	4,388	8,855	0,262	0,113	100,009
42,262	0,662	21,391	1,15	21,513	4,354	7,995	0,292	0,144	99,763
42,014	0,958	20,387	1,161	21,45	4,295	8,587	0,265	0,094	99,211
41,53	1,077	20,145	1,17	20,798	4,496	9,49	0,25	0,035	98,991
41,655	0,92	20,551	1,192	21,489	4,367	8,848	0,265	0,126	99,413
41,942	0,917	20,567	1,199	21,622	4,302	8,755	0,248	0,116	99,668
42,092	0,961	20,46	1,319	21,404	4,005	9,12	0,279	0,119	99,759
42,183	0,951	20,402	1,376	21,392	4,426	8,706	0,274	0,11	99,82
42,199	1,063	20,464	1,42	21,619	4,305	8,696	0,242	0,106	100,114
42,381	0,938	20,743	1,434	21,35	4,419	8,18	0,282	0,142	99,869
42,11	0,905	20,502	1,437	21,348	4,416	8,486	0,273	0,055	99,532
41,97	0,973	20,238	1,474	21,737	4,301	8,627	0,239	0,09	99,649
42,022	0,849	20,355	1,479	21,362	4,424	8,331	0,269	0,117	99,208
42,088	0,874	20,459	1,512	21,733	4,449	8,044	0,249	0,102	99,51
42,249	0,937	20,416	1,533	21,098	4,535	9,15	0,261	0,087	100,266
42,194	0,89	20,475	1,543	21,5	4,262	8,462	0,278	0,135	99,739
42,147	0,781	20,493	1,583	21,971	4,282	7,913	0,26	0,1	99,53
42,159	0,967	20,41	1,619	21,362	4,333	8,523	0,251	0,083	99,707
42,209	0,691	21,087	1,64	21,432	4,104	8,289	0,322	0,113	99,887
42,277	0,722	20,633	1,661	21,652	4,204	8,024	0,244	0,112	99,529
41,562	0,954	20,26	1,689	20,435	4,494	9,187	0,299	0,109	98,989
41,901	0,933	20,038	1,698	21,824	4,374	8,42	0,262	0,117	99,567
43,045	0,887	20,679	1,721	21,606	4,427	7,883	0,264	0,139	100,651
42,101	0,946	19,902	1,814	21,877	4,42	8,179	0,271	0,128	99,638
42,288	0,947	20,312	1,87	21,845	4,403	8,048	0,26	0,085	100,058
42,22	0,796	20,17	1,876	21,563	4,308	8,137	0,223	0,112	99,405
41,945	0,965	20,261	1,885	21,034	4,5	8,252	0,296	0,079	99,217
42,159	0,902	20,066	1,895	21,566	4,48	8,006	0,259	0,108	99,441
42,131	0,421	21,37	1,897	21,799	3,843	7,29	0,331	0,098	99,18
42,02	0,857	20,642	1,9	20,271	4,414	9,67	0,348	0,163	100,285
42,215	0,844	20,093	1,936	21,709	4,526	7,916	0,262	0,065	99,566
41,876	1,103	20,077	1,964	20,21	4,666	9,647	0,31	0,106	99,959
42,45	0,864	20,16	2,005	21,756	4,458	7,995	0,249	0,083	100,02
42,8	0,746	20,349	2,021	21,638	4,273	7,946	0,226	0,083	100,082
41,466	1,145	19,648	2,089	20,617	4,667	9,671	0,286	0,119	99,708
41,929	1,039	19,948	2,129	21,301	4,467	8,335	0,277	0,125	99,55
42,522	0	22,372	2,15	23,402	1,819	7,388	0,435	0,014	100,102
42,355	0,899	20,036	2,16	21,527	4,464	7,898	0,258	0,091	99,688
42,015	0,551	21,196	2,179	21,955	4,044	6,914	0,287	0,1	99,241
41,91	0,875	19,998	2,183	21,866	4,535	7,956	0,264	0,095	99,682
42,229	0,864	19,901	2,231	21,518	4,507	7,942	0,257	0,078	99,527
41,425	0,79	20,3	2,237	19,566	5,452	9,492	0,373	0,077	99,712
42,543	0,482	21,173	2,253	21,784	4,17	7,142	0,309	0,073	99,929
42,563	0,521	21,031	2,294	21,52	4,632	7,381	0,279	0,06	100,281
41,965	0,878	19,671	2,38	21,789	4,486	7,9	0,276	0,084	99,429
42,068	0,857	19,596	2,393	21,413	4,488	7,959	0,274	0,075	99,123
41,937	0,686	20,25	2,541	21,196	4,225	8,121	0,352	0,033	99,341

**Анабаро-Уджинское междуречье****р. Уджа**

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	145	145	145	145
x	3,79	20,45	4,91	7,87
s	2,14	0,92	0,56	1,41
min	0,22	17,42	2,41	5,08
max	10,91	23,77	6,58	12,96

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
167	145	34	13	2	36	2
	86,83%	23,45%	8,97%	1,38%	24,83%	1,38%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
42,55	0,13	21,70	1,82	22,31	4,10	6,64	0,26	0,05	99,56
42,02	0,24	20,49	3,79	20,30	4,81	7,38	0,44	0,06	99,53
41,65	0,37	18,01	6,70	20,11	5,92	6,22	0,30	0,03	99,30
42,04	0,97	19,73	2,75	20,55	4,90	8,27	0,30	0,05	99,55
41,64	0,70	21,69	0,10	18,13	4,50	12,68	0,41	0,10	99,94
41,52	0,43	22,10	0,01	17,48	4,05	13,89	0,47	0,06	100,00
41,96	0,61	19,14	4,66	20,67	5,22	6,96	0,30	0,03	99,55
38,76	0,16	20,99	0,00	5,31	6,72	28,47	0,71	0,00	101,13
41,79	0,09	21,65	2,20	19,15	4,68	9,73	0,53	0,01	99,81
41,93	0,20	20,52	3,34	20,02	4,65	8,59	0,35	0,05	99,66
42,34	0,88	20,34	2,29	21,03	4,83	7,69	0,27	0,08	99,75
42,26	0,86	19,49	3,79	20,97	5,05	7,08	0,28	0,04	99,82
42,30	0,46	21,16	2,58	21,70	4,46	6,51	0,29	0,08	99,52
41,87	0,10	21,70	2,00	18,78	4,58	10,56	0,53	0,02	100,14
42,37	0,13	22,07	1,79	20,01	4,70	8,78	0,39	0,02	100,25
41,90	1,15	17,80	5,57	20,78	5,40	6,49	0,28	0,10	99,46
41,68	0,09	19,51	5,08	20,14	5,29	7,17	0,40	0,00	99,37
41,51	0,35	18,01	6,26	20,02	5,52	7,59	0,31	0,07	99,65
41,96	0,51	19,22	4,37	20,56	5,04	7,37	0,29	0,10	99,40
42,05	0,57	19,59	4,04	21,39	4,61	6,61	0,28	0,07	99,19
41,76	0,99	21,03	0,93	19,41	4,59	10,24	0,34	0,09	99,38
41,04	1,07	16,14	7,60	19,21	6,34	7,32	0,33	0,10	99,14
41,88	0,43	19,69	4,17	20,32	5,18	7,28	0,33	0,05	99,32
42,08	0,89	20,68	1,60	20,06	4,49	9,58	0,32	0,11	99,81
41,87	0,14	20,49	3,60	20,12	4,69	8,02	0,42	0,07	99,42
42,02	0,35	19,30	5,01	21,17	4,68	6,52	0,32	0,01	99,38

41,34	0,26	16,38	8,71	19,40	6,58	6,50	0,33	0,03	99,52
42,07	0,96	20,34	2,05	20,15	4,90	8,79	0,32	0,10	99,68
42,32	0,58	20,42	3,41	21,70	4,14	6,81	0,27	0,09	99,74
41,31	1,30	20,41	0,63	18,67	4,78	11,71	0,35	0,12	99,27
38,57	0,10	20,98	0,01	5,39	6,74	28,28	0,91	0,01	100,99
42,15	0,76	20,22	2,55	20,91	4,60	8,20	0,28	0,05	99,72
41,91	0,10	21,97	1,77	18,74	4,72	10,17	0,52	0,03	99,93
41,32	1,18	16,24	7,82	19,83	6,21	6,70	0,32	0,07	99,68
42,29	0,16	21,06	2,66	20,41	4,49	8,07	0,38	0,01	99,54
41,80	0,08	22,08	1,63	18,91	4,60	10,34	0,51	0,05	100,00
39,57	0,11	21,72	0,01	9,35	6,30	21,80	2,13	0,00	100,98
42,32	0,86	20,55	1,86	20,60	4,60	8,55	0,30	0,05	99,69
42,08	0,44	20,05	3,87	20,69	4,78	7,20	0,30	0,07	99,47
41,90	0,11	22,08	1,63	19,96	4,68	8,81	0,39	0,04	99,59
42,22	0,73	20,15	2,57	21,23	4,59	7,40	0,25	0,06	99,19
41,21	0,74	19,11	3,95	18,92	5,04	9,96	0,37	0,08	99,37
42,03	0,79	21,31	0,66	20,82	4,28	9,16	0,30	0,09	99,43
42,02	0,77	19,65	3,27	20,83	4,84	7,62	0,30	0,07	99,36
41,71	0,41	18,00	6,30	20,21	5,46	7,02	0,31	0,09	99,50
41,92	0,38	19,64	4,23	20,40	4,73	7,73	0,38	0,08	99,48
41,93	1,02	21,09	0,85	20,28	4,40	9,51	0,32	0,10	99,49
41,76	0,74	21,72	0,17	18,51	4,53	12,00	0,42	0,05	99,89
41,99	0,07	20,29	4,27	20,28	5,12	7,27	0,37	0,06	99,71
42,27	0,05	22,05	1,77	20,02	4,43	8,85	0,42	0,01	99,86
41,65	0,14	17,12	7,55	20,31	5,76	6,28	0,29	0,00	99,10
41,94	0,36	18,74	4,88	20,88	5,03	7,02	0,29	0,07	99,19
39,79	0,15	21,64	0,03	8,33	7,79	22,73	0,45	0,07	100,98
41,51	0,79	21,67	0,15	18,53	4,55	12,21	0,39	0,10	99,91
42,08	0,31	17,44	7,72	22,13	3,64	6,20	0,29	0,02	99,84
42,01	0,59	19,53	3,88	20,75	5,00	7,53	0,30	0,05	99,64
42,24	0,20	19,66	4,45	20,87	4,80	7,04	0,33	0,05	99,64
42,48	0,80	20,73	1,67	20,94	4,50	8,11	0,25	0,07	99,54
42,04	0,09	18,21	6,67	19,99	6,00	6,51	0,28	0,02	99,81
42,45	0,43	19,94	3,95	21,45	4,56	6,82	0,28	0,05	99,93
42,47	0,36	20,90	2,53	21,44	4,28	7,39	0,29	0,04	99,70
42,25	0,09	21,71	2,18	19,84	5,03	8,27	0,37	0,03	99,76
42,38	0,27	20,15	4,00	21,71	4,51	6,44	0,25	0,04	99,75
42,42	0,76	20,19	2,35	21,00	4,61	7,99	0,24	0,06	99,62
42,23	0,34	20,27	3,59	20,79	4,80	7,24	0,31	0,04	99,61
41,49	0,41	16,37	9,11	19,41	6,08	6,73	0,35	0,05	99,99
42,29	0,09	20,02	4,11	20,41	5,23	7,49	0,31	0,01	99,97
41,94	1,02	20,47	1,31	19,22	4,73	10,75	0,33	0,09	99,86

*р. Чычах-Чымара*

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	191	191	191	191
x	3,85	20,19	4,92	8,33
s	2,34	1,53	0,66	2,31
min	0,33	7,89	2,28	6,15
max	11,70	22,77	7,87	28,06

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
203	191	59	19	3	45	3
	94,09%	30,89%	9,95%	1,57%	23,56%	1,57%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
39,05	0,13	21,26	0,03	8,14	7,36	24,61	0,44	0,04	101,06
40,93	0,59	21,28	0,10	17,30	4,33	14,17	0,41	0,08	99,19
40,71	0,46	22,32	0,15	14,96	4,93	16,33	0,38	0,13	100,37
38,24	0,05	20,76	0,40	7,89	4,53	28,06	0,49	0,05	100,46
39,70	0,11	21,20	0,54	11,75	5,55	20,87	0,69	0,02	100,43
41,83	0,78	20,98	0,96	20,02	4,66	10,21	0,23	0,13	99,80
41,74	1,01	20,56	1,19	19,98	4,57	10,69	0,25	0,10	100,08
42,06	0,79	21,09	1,23	21,23	4,37	8,50	0,22	0,08	99,55
42,35	0,83	20,91	1,25	21,07	4,29	8,99	0,20	0,12	100,01
41,59	0,09	22,35	1,36	19,39	4,95	9,50	0,37	0,03	99,62
41,62	1,05	20,28	1,50	19,97	4,81	9,90	0,26	0,10	99,47
41,41	0,98	20,48	1,54	20,29	4,68	9,64	0,23	0,09	99,32
41,69	0,89	20,44	1,62	20,34	4,68	9,49	0,22	0,08	99,43
42,34	0,37	21,52	1,72	21,18	4,51	7,91	0,26	0,07	99,86
41,50	0,77	20,42	1,82	21,27	4,47	8,51	0,21	0,08	99,07
41,69	0,13	21,74	1,87	19,53	4,65	9,85	0,34	0,04	99,84
41,90	0,09	21,79	2,10	19,77	4,62	9,06	0,37	0,02	99,73
42,42	0,33	21,07	2,29	21,29	4,53	7,83	0,22	0,06	100,04
42,01	0,61	20,60	2,34	21,01	4,42	8,34	0,20	0,08	99,61
41,99	0,94	20,07	2,56	20,71	4,60	8,71	0,25	0,11	99,94
41,69	0,91	20,51	2,62	21,16	4,58	7,79	0,24	0,13	99,62
41,93	0,67	20,25	2,77	21,08	4,94	7,66	0,23	0,06	99,58
42,02	0,75	20,05	2,81	21,27	4,62	7,86	0,22	0,08	99,67
41,74	0,76	19,90	2,88	20,80	4,67	8,16	0,22	0,10	99,23
41,47	0,07	21,20	2,94	19,43	4,93	9,09	0,37	0,06	99,56
41,89	0,06	21,19	3,02	19,36	5,00	9,08	0,37	0,03	100,00
42,14	0,10	20,75	3,42	21,20	4,70	7,09	0,25	0,04	99,69
41,28	0,18	20,69	3,46	20,39	4,66	8,47	0,32	0,06	99,50
41,80	0,46	20,15	3,57	21,23	4,76	7,49	0,24	0,07	99,77
42,11	0,43	20,14	3,69	21,03	4,92	7,10	0,24	0,06	99,71
40,94	0,01	20,42	3,71	16,69	7,87	9,44	0,46	0,02	99,56

41,63	0,15	20,58	3,74	20,22	4,81	8,14	0,34	0,07	99,66
42,08	0,04	20,58	3,79	20,99	4,80	7,15	0,25	0,03	99,69
40,77	1,04	15,12	9,61	20,62	5,67	6,17	0,24	0,11	99,32
41,29	0,21	15,55	10,62	21,70	3,56	6,34	0,24	0,08	99,58
40,53	0,40	14,19	11,70	18,95	6,36	6,84	0,27	0,07	99,32
38,55	0,09	21,37	0,04	6,99	8,90	23,85	0,38	0,06	100,23
39,10	0,09	21,35	0,04	8,36	6,32	25,15	0,41	0,07	100,88
38,70	0,13	20,88	0,04	6,52	6,63	27,81	0,61	0,03	101,35
37,24	0,04	20,76	0,07	4,26	2,36	35,49	0,88	0,01	101,11
41,25	0,64	21,32	0,33	16,24	5,61	14,27	0,41	0,08	100,14
41,02	0,60	21,20	0,40	16,20	5,54	14,73	0,41	0,08	100,18
41,08	0,39	21,75	0,44	16,13	4,80	15,30	0,42	0,05	100,36
41,91	0,85	21,57	0,53	18,65	4,57	12,05	0,29	0,10	100,53
42,21	0,86	22,15	0,55	21,30	4,08	8,18	0,21	0,12	99,66
41,62	0,65	21,88	0,62	19,58	4,85	9,90	0,27	0,11	99,46
41,70	1,14	20,57	1,07	19,26	4,56	11,43	0,29	0,11	100,12
42,01	1,01	20,73	1,09	20,47	4,44	9,88	0,21	0,11	99,94
41,61	1,02	20,96	1,20	19,20	4,60	10,96	0,28	0,13	99,95
41,74	0,94	20,79	1,32	20,03	4,62	9,90	0,25	0,09	99,69
42,46	0,73	21,07	1,46	21,26	4,41	8,27	0,20	0,09	99,95
41,71	0,88	20,79	1,53	20,22	4,61	9,43	0,24	0,09	99,50
42,23	0,06	22,36	1,59	20,47	4,34	8,80	0,31	0,02	100,17
42,45	0,65	21,24	1,60	21,41	4,19	8,15	0,19	0,09	99,96
42,17	0,10	22,34	1,60	19,80	4,63	9,18	0,33	0,05	100,18
42,38	0,85	20,78	1,69	20,95	4,61	8,52	0,23	0,10	100,09
41,88	0,14	22,30	1,71	20,02	4,53	9,09	0,35	0,06	100,08
42,12	0,67	21,14	1,72	21,31	4,37	7,82	0,24	0,07	99,47
41,56	0,93	20,43	1,81	20,24	4,40	9,66	0,24	0,12	99,38
42,17	0,71	20,72	1,82	21,35	4,42	8,12	0,19	0,08	99,58
42,49	0,50	21,66	1,83	21,65	4,29	7,18	0,24	0,08	99,91
41,56	0,13	21,82	1,91	18,52	4,53	11,19	0,42	0,04	100,12
41,71	0,06	22,03	1,94	19,31	4,73	10,09	0,40	0,03	100,29
41,78	0,16	21,76	2,00	19,53	4,66	9,58	0,35	0,05	99,88
41,76	0,10	21,93	2,04	19,42	4,55	9,74	0,39	0,02	99,95
41,88	0,08	21,86	2,05	19,29	4,51	9,92	0,38	0,04	100,01
42,04	0,10	21,88	2,10	19,95	4,38	9,30	0,35	0,03	100,11
42,33	0,71	20,75	2,11	21,30	4,52	8,13	0,20	0,07	100,11
41,14	0,14	21,30	2,11	16,74	4,42	14,10	0,56	0,06	100,57
42,27	0,63	20,48	2,26	21,45	4,51	7,65	0,19	0,07	99,50
41,94	0,07	21,74	2,39	19,83	4,82	8,68	0,32	0,12	99,89
41,87	0,87	20,35	2,42	20,58	4,77	8,42	0,23	0,10	99,60
42,16	0,00	22,12	2,43	21,22	2,98	8,72	0,48	0,03	100,13

*р. Каменистый (пермские гравелиты)*

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	97	97	97	97
x	4,05	20,71	4,72	7,58
s	2,17	0,84	0,75	0,88
min	0,69	18,45	1,69	5,96
max	10,82	23,49	6,38	10,06

N	Пирроп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
111	97	27	12	3	17	6
	87,39%	27,84%	12,37%	3,09%	17,53%	6,19%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
41,56	1,01	21,40	0,07	18,95	4,57	11,43	0,34	0,10	99,42
41,89	0,86	21,75	0,09	19,46	4,25	10,86	0,41	0,12	99,69
42,60	0,90	20,90	0,69	21,05	4,13	8,92	0,27	0,08	99,54
42,40	0,64	21,57	1,05	21,17	4,27	8,21	0,27	0,08	99,66
42,31	0,68	21,40	1,13	21,16	4,32	8,21	0,29	0,09	99,59
42,37	0,91	20,40	1,31	20,90	4,30	8,82	0,28	0,08	99,37
42,35	0,92	20,24	1,53	21,07	4,34	8,54	0,28	0,08	99,36
42,00	0,97	20,36	1,77	20,49	4,50	9,10	0,34	0,12	99,64
42,29	0,96	20,19	1,85	20,77	4,44	8,70	0,30	0,07	99,56
42,42	0,22	21,71	2,10	21,52	4,94	6,01	0,32	0,02	99,25
42,34	0,27	21,08	2,28	21,33	4,26	7,51	0,38	0,02	99,47
42,17	0,65	20,37	2,50	21,13	4,90	7,51	0,26	0,05	99,54
42,07	0,65	20,46	2,52	21,02	4,84	7,52	0,26	0,08	99,41
42,16	0,87	19,51	2,64	21,34	4,54	7,80	0,27	0,06	99,19
42,45	0,04	21,34	2,90	21,75	4,07	6,81	0,33	0,06	99,74
42,33	0,48	20,17	3,19	21,23	4,95	6,87	0,29	0,03	99,54
42,30	0,46	20,13	3,31	21,47	4,51	7,27	0,33	0,07	99,84
42,05	0,01	20,85	3,34	19,62	5,23	8,00	0,50	0,03	99,62
42,23	0,03	20,67	3,36	21,59	4,49	6,66	0,34	0,04	99,39
42,05	0,50	19,89	3,54	20,99	4,58	7,13	0,33	0,06	99,08
42,05	0,15	20,32	3,84	20,91	5,02	6,63	0,31	0,05	99,29
42,00	0,58	19,59	3,93	20,80	4,79	7,48	0,33	0,07	99,57
42,33	0,18	20,47	3,94	21,97	4,24	5,96	0,34	0,06	99,49
41,68	0,16	20,28	3,97	19,49	4,93	9,04	0,48	0,03	100,05
41,59	1,01	18,87	4,01	19,68	5,70	8,36	0,39	0,06	99,66
41,97	0,45	19,80	4,05	20,74	4,56	7,33	0,38	0,07	99,35
41,75	0,04	20,33	4,11	19,81	4,91	8,27	0,62	0,03	99,87
42,09	0,13	19,95	4,17	20,50	4,63	7,43	0,40	0,07	99,38
41,84	0,70	19,15	4,50	20,30	5,94	6,82	0,37	0,06	99,70
41,77	0,56	18,79	4,69	20,51	5,56	6,82	0,29	0,02	99,01
41,64	0,93	18,52	4,92	21,02	4,90	7,20	0,34	0,10	99,56

41,69	0,65	18,84	5,01	20,16	5,89	6,67	0,37	0,08	99,35
41,91	0,68	18,63	5,12	20,51	4,79	7,62	0,37	0,10	99,74
41,65	0,08	19,14	5,39	20,61	5,21	6,52	0,35	0,06	99,00
41,38	0,50	17,69	6,87	20,28	5,09	6,93	0,42	0,04	99,21
41,82	0,05	15,51	10,82	23,32	1,69	6,24	0,38	0,04	99,87
40,99	0,48	15,28	10,20	20,06	4,94	7,22	0,39	0,05	99,59
41,58	0,02	17,60	8,04	21,90	2,89	7,06	0,46	0,04	99,59
41,21	0,11	17,33	7,76	19,96	5,19	7,36	0,46	0,04	99,42
41,63	0,24	17,45	7,68	20,85	4,52	6,97	0,39	0,08	99,81
41,50	0,21	17,29	7,66	20,71	4,53	7,00	0,39	0,05	99,34
41,69	0,27	17,51	7,65	20,65	4,57	7,05	0,42	0,05	99,85
41,70	0,23	17,93	7,06	20,91	4,57	6,77	0,38	0,06	99,59
41,62	0,44	17,76	7,04	21,13	4,93	6,21	0,35	0,06	99,54
41,75	0,25	17,85	6,97	20,91	4,55	6,75	0,40	0,00	99,42
41,25	0,11	18,14	6,97	19,44	6,38	6,57	0,41	0,05	99,32
41,65	0,29	17,92	6,46	20,00	5,79	7,04	0,36	0,06	99,56
42,15	0,02	19,19	6,11	23,49	1,76	6,54	0,39	0,04	99,69
41,98	0,73	18,61	5,59	21,15	4,71	6,88	0,36	0,09	100,08
41,66	0,74	18,42	5,56	21,17	4,77	6,84	0,36	0,10	99,62
41,68	0,98	17,49	5,41	20,80	5,10	7,65	0,29	0,11	99,52
41,38	1,14	17,63	5,24	20,00	5,23	8,23	0,37	0,13	99,34
41,56	0,09	19,58	4,90	19,45	5,61	8,25	0,48	0,05	99,97
42,02	0,16	19,96	4,18	20,82	4,73	7,43	0,39	0,04	99,72
41,55	1,15	18,26	4,17	19,93	5,28	8,91	0,37	0,08	99,69
41,60	0,20	20,15	4,07	19,66	5,29	8,16	0,44	0,05	99,59
41,99	0,48	19,87	4,04	21,13	4,56	7,07	0,37	0,08	99,60
41,72	0,19	20,24	3,99	19,64	5,23	8,14	0,45	0,04	99,63
41,76	0,21	20,23	3,97	19,71	5,24	8,13	0,42	0,06	99,73
42,08	0,33	20,19	3,62	21,49	4,85	6,45	0,28	0,04	99,32
42,20	0,36	20,17	3,61	21,52	4,89	6,48	0,27	0,02	99,53
41,75	0,06	20,80	3,53	19,44	5,30	8,34	0,52	0,03	99,77
41,79	0,05	20,89	3,43	19,48	5,22	8,34	0,52	0,03	99,76
41,97	0,06	20,73	3,42	20,09	4,95	7,82	0,43	0,05	99,50
41,93	0,09	20,90	3,27	20,29	4,84	7,87	0,44	0,01	99,65
42,42	0,29	20,52	3,23	21,08	4,68	7,37	0,33	0,07	99,99
42,15	0,01	21,43	2,87	20,36	4,97	7,47	0,39	0,00	99,65
41,57	0,06	21,13	2,78	18,45	5,75	9,34	0,55	0,03	99,67
42,00	0,28	21,18	2,77	20,58	4,75	7,55	0,38	0,02	99,51
41,93	0,02	21,59	2,52	19,99	4,80	8,14	0,47	0,02	99,47
42,48	0,40	21,06	2,34	21,27	4,60	7,04	0,26	0,05	99,50
41,68	0,98	19,81	2,28	20,16	4,56	9,39	0,34	0,08	99,28
41,86	0,01	22,00	2,04	19,31	5,31	8,82	0,62	0,03	99,98

*р. Бюк-Юряге (юрские конгломераты)*

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	150	150	150	150
x	3,25	20,73	4,80	7,83
s	1,91	0,95	0,49	1,48
min	0,21	16,72	2,95	5,73
max	10,15	23,22	6,80	13,95

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
167	150	24	7	1	50	1
	89,82%	16,00%	4,67%	0,67%	33,33%	0,67%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
39,19	0,18	21,37	0,01	6,43	9,89	22,60	0,54	0,08	100,30
40,10	0,33	22,13	0,04	9,47	10,23	17,39	0,45	0,17	100,31
41,41	0,99	20,95	0,05	17,41	4,92	13,71	0,45	0,13	100,01
39,11	0,46	8,70	0,05	21,46	0,12	21,96	7,94	0,06	99,85
39,69	0,10	21,72	0,05	8,93	6,99	22,74	0,46	0,00	100,68
39,36	0,60	5,47	0,06	21,55	0,05	23,08	9,65	0,03	99,85
41,54	0,47	21,92	0,16	17,09	4,65	13,80	0,50	0,06	100,19
41,98	0,84	21,59	0,16	18,52	4,35	12,22	0,45	0,10	100,20
41,73	1,26	20,84	0,17	18,68	4,59	12,22	0,39	0,17	100,06
41,33	0,50	21,72	0,19	17,16	4,57	13,92	0,49	0,06	99,95
41,80	1,00	21,29	0,21	18,76	4,65	12,05	0,38	0,07	100,20
41,99	0,29	22,21	0,28	18,26	6,23	10,35	0,28	0,04	99,92
42,57	0,61	21,94	0,34	20,91	4,60	8,34	0,24	0,06	99,60
41,67	1,08	21,18	0,51	19,11	4,25	12,13	0,42	0,12	100,45
41,81	1,03	21,12	0,53	19,60	4,42	10,75	0,33	0,14	99,72
42,76	0,77	21,40	0,65	21,72	4,33	7,76	0,24	0,10	99,72
42,11	1,19	20,71	0,68	19,78	4,65	10,27	0,33	0,14	99,84
42,43	0,64	21,54	0,69	20,33	4,60	9,08	0,26	0,09	99,66
41,67	1,02	20,73	0,77	19,55	4,53	10,75	0,34	0,13	99,49
42,27	0,67	21,24	1,00	20,12	4,78	9,27	0,28	0,12	99,75
42,57	0,82	21,04	1,09	21,22	4,29	8,51	0,27	0,06	99,86
42,00	0,77	21,31	1,12	21,30	4,45	7,85	0,28	0,07	99,15
41,98	0,87	20,95	1,17	20,43	4,62	9,50	0,32	0,06	99,88
42,40	0,80	20,80	1,20	21,21	4,24	8,31	0,25	0,09	99,30
42,34	0,86	20,85	1,33	21,37	4,45	8,55	0,28	0,08	100,10
42,37	0,76	21,05	1,38	21,19	4,58	8,02	0,32	0,06	99,72
42,03	0,08	22,25	1,44	19,67	4,62	9,24	0,40	0,03	99,75
42,44	0,77	20,85	1,52	21,40	4,38	7,98	0,25	0,04	99,63
42,56	0,47	21,53	1,55	21,73	4,25	7,16	0,29	0,04	99,59
41,57	0,58	21,12	1,59	18,32	4,48	11,65	0,50	0,07	99,88
42,12	0,09	22,04	1,70	20,21	4,66	8,57	0,41	0,05	99,84

42,29	0,08	22,09	1,79	20,49	4,70	8,22	0,40	0,00	100,07
42,20	0,76	20,48	1,79	21,35	4,48	8,03	0,25	0,07	99,40
42,34	0,62	21,00	1,81	21,45	4,34	7,57	0,27	0,06	99,46
41,75	0,10	21,84	1,82	19,11	4,51	10,11	0,49	0,00	99,73
42,39	0,75	20,56	1,83	21,47	4,47	7,79	0,25	0,05	99,56
41,77	0,15	21,69	1,87	19,11	4,42	10,38	0,47	0,04	99,90
42,30	0,77	20,45	1,90	21,00	4,52	8,25	0,30	0,08	99,57
41,98	0,13	21,78	1,92	20,18	4,59	8,73	0,44	0,04	99,80
42,40	0,82	20,33	1,95	21,25	4,57	8,12	0,26	0,07	99,76
42,19	0,04	21,99	1,95	19,83	5,05	8,18	0,38	0,02	99,63
42,68	0,35	21,52	1,96	22,45	4,31	6,08	0,26	0,03	99,65
42,12	0,95	20,16	1,97	20,95	4,62	8,42	0,27	0,10	99,55
42,43	0,63	21,10	1,98	21,23	4,56	7,26	0,32	0,07	99,57
42,33	0,75	20,35	2,04	21,49	4,54	7,91	0,26	0,09	99,77
42,01	0,95	20,04	2,14	20,84	4,84	8,37	0,27	0,05	99,50
42,59	0,71	20,43	2,16	21,84	4,58	7,19	0,26	0,04	99,79
42,20	0,95	19,94	2,18	21,09	4,58	8,27	0,28	0,06	99,54
41,92	0,15	21,48	2,19	19,41	4,57	9,78	0,53	0,02	100,04
41,99	0,06	21,57	2,22	20,34	4,64	8,35	0,41	0,04	99,61
42,17	0,74	20,38	2,27	21,27	4,74	7,56	0,31	0,07	99,51
42,32	0,69	20,41	2,43	21,36	4,57	7,66	0,27	0,06	99,75
42,61	0,53	20,86	2,43	22,09	4,21	6,51	0,28	0,06	99,57
42,20	1,02	19,92	2,43	20,91	4,78	8,23	0,29	0,10	99,86
42,04	1,03	20,10	2,46	21,17	5,07	7,31	0,29	0,06	99,53
42,01	0,09	21,49	2,55	19,79	4,59	8,90	0,48	0,03	99,92
42,37	0,43	20,85	2,57	21,73	4,49	7,00	0,30	0,04	99,76
42,30	0,75	20,14	2,61	21,34	4,62	7,60	0,26	0,05	99,66
42,08	0,72	20,33	2,61	20,23	4,60	9,04	0,31	0,09	100,01
42,24	0,44	20,95	2,81	21,53	4,53	6,72	0,32	0,06	99,60
42,33	0,62	19,88	3,00	21,47	4,47	7,53	0,29	0,09	99,69
42,38	0,30	20,81	3,05	21,48	4,66	6,78	0,32	0,02	99,80
42,66	0,24	21,08	3,14	23,04	3,28	6,04	0,27	0,03	99,78
42,42	0,17	20,91	3,15	21,56	4,57	6,67	0,31	0,04	99,79
42,39	0,73	19,85	3,19	21,22	4,93	7,00	0,28	0,02	99,61
42,31	0,49	20,20	3,21	21,49	4,84	6,73	0,28	0,10	99,64
42,26	0,17	20,34	3,37	21,42	4,88	6,89	0,28	0,04	99,64
41,86	0,92	19,31	3,45	20,50	4,94	8,38	0,30	0,08	99,74
41,91	0,72	19,61	3,57	20,84	4,79	7,67	0,29	0,06	99,45
42,14	0,56	20,01	3,71	21,26	4,62	7,15	0,31	0,08	99,84
42,18	0,49	19,93	3,79	21,80	4,19	6,59	0,30	0,09	99,37
42,25	0,50	19,77	3,86	21,33	4,99	6,67	0,30	0,05	99,73
42,22	0,85	19,03	4,00	21,14	4,76	7,45	0,29	0,09	99,83

*р. Маят*

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	87	87	87	87
x	3,88	20,99	4,88	7,54
s	1,75	0,75	0,48	1,14
min	0,21	18,36	3,79	5,85
max	8,49	22,17	6,36	12,34

N	Пирроп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
92	87	22	3	0	10	1
	94,57%	25,29%	3,45%	0,00%	11,49%	1,15%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
40,29	0,05	22,44	0,12	14,95	1,85	21,03	0,40	0,01	101,14
38,61	0,04	21,66	0,16	9,80	2,37	26,85	1,32	0,03	100,84
41,57	0,72	21,79	0,21	18,64	4,63	12,34	0,45	0,08	100,44
42,04	0,18	22,12	1,59	19,53	4,52	9,77	0,46	0,06	100,26
41,73	0,11	21,61	2,14	19,39	4,67	9,86	0,46	0,02	99,99
41,57	0,09	21,38	2,37	19,44	4,71	9,36	0,48	0,03	99,43
41,98	1,01	20,15	2,48	20,84	4,97	8,70	0,38	0,09	100,60
42,13	0,51	20,41	3,00	21,59	4,87	6,77	0,24	0,05	99,58
41,69	0,75	19,69	3,20	20,71	4,88	8,41	0,30	0,07	99,70
42,05	0,50	20,53	3,23	21,19	4,95	7,31	0,29	0,06	100,10
41,94	0,48	20,00	3,49	21,40	4,62	7,48	0,30	0,07	99,77
41,91	1,04	19,19	3,80	21,86	4,93	6,49	0,28	0,08	99,57
41,46	0,72	19,58	3,86	21,16	4,79	7,10	0,31	0,07	99,04
42,04	0,28	19,27	4,98	21,54	4,89	6,76	0,30	0,06	100,11
41,45	0,61	18,46	5,56	21,03	4,90	6,70	0,26	0,08	99,06
41,28	0,67	18,14	6,28	20,24	5,74	6,91	0,30	0,08	99,63
41,41	0,29	17,71	6,71	20,31	6,03	6,70	0,29	0,03	99,47
41,44	0,19	17,44	7,24	20,35	6,20	6,55	0,29	0,05	99,74
41,33	0,35	16,86	8,09	19,89	6,36	6,51	0,31	0,04	99,75
37,79	0,05	20,79	0,03	6,84	4,05	30,32	0,79	0,06	100,71
41,61	0,79	20,57	1,43	21,15	4,41	9,00	0,26	0,08	99,30
41,88	0,21	21,78	2,24	20,13	4,70	9,09	0,49	0,06	100,59
41,63	0,58	20,90	2,29	21,67	4,26	6,96	0,33	0,07	98,68
42,33	0,55	20,50	2,34	21,90	4,44	7,51	0,26	0,07	99,89
41,58	0,79	19,69	2,70	21,68	4,74	7,54	0,27	0,05	99,04
41,43	0,00	21,16	2,71	20,37	5,17	8,00	0,42	0,02	99,28
41,70	0,27	20,17	2,99	21,60	4,43	7,26	0,30	0,06	98,79
42,06	0,61	20,10	3,10	21,63	4,51	7,46	0,30	0,08	99,85
40,73	0,19	20,33	3,16	18,36	4,64	11,55	0,60	0,06	99,61
41,89	0,61	19,88	3,41	21,49	5,06	7,14	0,28	0,05	99,81
41,77	0,22	19,70	4,02	21,29	5,02	7,26	0,31	0,07	99,66
41,26	0,72	19,51	4,09	21,55	3,79	7,81	0,32	0,08	99,11

41,47	0,46	19,43	4,17	21,56	4,76	6,68	0,30	0,07	98,90
41,42	0,95	18,90	4,22	20,95	5,11	8,06	0,32	0,10	100,03
42,00	0,17	20,13	4,32	21,00	5,05	7,28	0,33	0,05	100,33
41,38	0,81	19,04	4,40	21,09	5,14	7,39	0,29	0,07	99,62
40,98	1,05	18,55	4,59	21,55	5,32	6,77	0,30	0,10	99,21
41,61	0,56	19,13	4,66	20,79	5,18	7,35	0,31	0,06	99,65
41,99	0,32	19,45	4,69	21,87	4,66	6,37	0,30	0,09	99,72
41,40	0,39	19,16	4,72	21,39	5,07	6,86	0,33	0,06	99,38
41,83	0,18	19,47	4,79	21,94	4,90	6,17	0,30	0,05	99,64
41,15	0,40	18,94	4,79	20,85	5,23	7,18	0,32	0,06	98,92
41,60	0,37	19,51	4,90	22,08	5,05	5,85	0,28	0,04	99,68
41,25	0,68	18,42	5,50	21,36	5,06	6,69	0,32	0,06	99,33
40,63	0,03	18,12	6,72	19,93	5,77	7,23	0,42	0,03	98,89
40,98	0,19	17,87	6,88	20,66	5,71	6,65	0,34	0,05	99,32
41,80	0,34	20,88	2,41	21,78	4,34	7,04	0,28	0,06	98,91
42,13	0,35	21,52	1,83	22,17	4,16	6,72	0,27	0,05	99,19
41,49	0,33	18,68	5,39	21,58	4,96	6,52	0,27	0,07	99,29
41,60	0,56	21,03	2,08	21,61	4,37	7,64	0,31	0,08	99,28
41,37	0,13	18,46	6,46	20,20	5,82	6,73	0,36	0,03	99,56
41,70	0,63	18,98	4,56	21,05	5,22	7,24	0,25	0,05	99,67
42,17	0,36	19,50	4,42	21,31	4,88	7,21	0,27	0,05	100,17
42,11	0,50	20,83	2,77	21,94	4,30	7,05	0,27	0,10	99,86
41,68	0,16	21,51	2,57	20,17	4,49	9,10	0,48	0,05	100,21
41,65	0,44	21,11	2,24	20,26	4,73	9,26	0,36	0,06	100,11
42,28	0,48	21,17	2,10	21,72	4,33	7,76	0,30	0,07	100,21
42,30	0,77	20,99	2,00	21,69	4,30	7,67	0,28	0,12	100,12
42,16	0,62	21,11	1,89	21,06	4,27	8,46	0,33	0,08	99,97
42,52	0,53	21,73	1,59	21,85	4,38	7,67	0,27	0,06	100,61
41,71	0,91	20,80	1,11	20,83	4,41	9,64	0,27	0,10	99,77
42,13	0,96	21,68	0,81	21,23	4,05	9,03	0,30	0,12	100,30
42,26	0,93	21,85	0,76	21,47	4,01	8,98	0,33	0,13	100,71
37,28	0,00	21,27	0,01	5,61	1,22	33,15	2,75	0,03	101,35
41,46	0,72	19,58	3,86	21,16	4,79	7,10	0,31	0,07	99,04
41,41	0,29	17,71	6,71	20,31	6,03	6,70	0,29	0,03	99,47
41,73	0,11	21,61	2,14	19,39	4,67	9,86	0,46	0,02	99,99
41,91	1,04	19,19	3,80	21,86	4,93	6,49	0,28	0,08	99,57
41,57	0,09	21,38	2,37	19,44	4,71	9,36	0,48	0,03	99,43
42,13	0,51	20,41	3,00	21,59	4,87	6,77	0,24	0,05	99,58
41,28	0,67	18,14	6,28	20,24	5,74	6,91	0,30	0,08	99,63
41,33	0,35	16,86	8,09	19,89	6,36	6,51	0,31	0,04	99,75
41,45	0,61	18,46	5,56	21,03	4,90	6,70	0,26	0,08	99,06
42,04	0,18	22,12	1,59	19,53	4,52	9,77	0,46	0,06	100,26

*р. Билях*

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	196	196	196	196
x	4,39	20,83	4,92	6,88
s	1,57	0,67	0,56	0,72
min	0,46	19,02	0,01	4,09
max	10,96	23,22	6,62	9,22

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
203	196	57	10	1	18	2
	96,55%	29,08%	5,10%	0,51%	9,18%	1,02%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
32,55	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	32,60
32,46	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	32,50
38,46	0,05	21,17	0,01	3,92	5,60	30,74	0,99	0,03	100,97
38,81	0,12	21,59	0,02	4,85	6,98	27,87	1,02	0,01	101,27
32,40	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	32,49
37,73	0,04	20,42	0,04	1,15	7,40	34,61	0,28	0,03	101,72
38,88	0,09	21,32	0,09	4,99	7,29	26,02	2,00	0,03	100,71
42,56	0,60	22,57	0,46	21,23	4,06	7,78	0,30	0,09	99,65
42,58	0,14	22,10	1,57	20,87	4,29	7,64	0,30	0,01	99,49
42,02	0,11	22,15	1,65	19,75	4,58	8,84	0,41	0,03	99,53
41,97	0,09	22,28	1,71	20,42	4,55	8,57	0,37	0,03	99,99
41,93	0,06	22,31	1,77	20,17	4,75	8,17	0,35	0,03	99,52
42,33	0,11	22,08	1,80	19,59	4,53	8,86	0,39	0,01	99,68
42,02	0,07	22,09	1,85	19,73	4,72	8,47	0,36	0,00	99,31
42,21	0,05	22,23	1,87	20,17	4,77	8,29	0,36	0,04	99,99
42,11	0,57	21,29	1,91	21,03	4,52	7,46	0,28	0,04	99,22
42,39	0,49	21,10	1,93	21,20	4,31	7,45	0,27	0,05	99,18
42,49	0,20	21,70	1,99	21,54	4,43	6,63	0,30	0,02	99,30
41,81	0,07	21,89	2,03	19,77	4,69	8,76	0,39	0,08	99,50
41,90	0,12	21,64	2,09	19,37	4,54	9,10	0,46	0,02	99,24
41,97	0,79	21,03	2,22	21,26	4,47	7,13	0,26	0,11	99,22
41,67	0,06	21,89	2,24	19,77	4,94	8,56	0,41	0,01	99,55
42,23	0,75	20,44	2,33	21,01	4,69	7,58	0,24	0,04	99,29
42,10	0,04	21,88	2,37	20,31	5,41	6,87	0,33	0,00	99,32
42,25	0,15	21,50	2,44	20,38	4,66	7,93	0,35	0,04	99,70
42,36	0,34	21,02	2,46	21,16	4,63	6,95	0,26	0,02	99,20
42,18	0,51	20,63	2,46	21,67	4,50	6,92	0,25	0,04	99,17
42,02	0,03	21,46	2,56	19,65	5,01	8,48	0,40	0,03	99,64
42,16	0,36	21,17	2,57	21,40	4,66	6,89	0,27	0,06	99,53
42,34	0,56	21,05	2,63	21,73	4,35	6,39	0,26	0,08	99,37
42,00	0,37	20,69	2,66	21,31	4,57	6,98	0,25	0,06	98,90

42,55	0,36	21,24	2,66	21,27	4,33	6,84	0,29	0,07	99,62
42,06	0,61	20,71	2,70	20,87	4,66	7,50	0,27	0,09	99,47
42,03	0,76	20,33	2,79	21,58	4,77	6,93	0,25	0,07	99,52
41,85	0,75	20,26	2,79	21,34	4,75	6,98	0,25	0,06	99,03
42,30	0,81	20,19	2,80	21,35	4,62	6,93	0,27	0,10	99,37
42,47	0,35	21,10	2,81	21,84	4,50	6,25	0,27	0,04	99,62
42,36	0,41	20,68	2,82	21,18	4,77	7,00	0,23	0,04	99,48
42,07	0,74	20,39	2,83	21,23	4,74	7,00	0,24	0,09	99,33
42,34	0,42	20,35	2,88	21,46	4,50	7,14	0,23	0,05	99,36
42,01	0,22	20,62	2,92	21,43	4,57	6,93	0,26	0,02	98,97
42,26	0,52	20,70	2,93	21,23	4,55	6,82	0,27	0,05	99,33
42,34	0,39	20,53	2,94	21,60	4,54	6,59	0,24	0,01	99,18
41,94	0,41	20,81	2,97	21,73	4,41	6,15	0,23	0,05	98,69
41,80	0,02	21,23	2,99	19,87	4,87	8,33	0,41	0,02	99,54
42,10	0,19	20,59	3,03	21,29	4,67	7,13	0,24	0,03	99,25
42,16	0,07	20,81	3,17	20,32	4,67	7,62	0,36	0,03	99,21
42,34	0,35	20,55	3,19	21,29	4,77	6,64	0,29	0,03	99,46
41,74	0,06	21,12	3,24	20,37	4,79	7,87	0,36	0,03	99,59
42,29	0,26	20,71	3,26	21,22	4,63	6,93	0,27	0,07	99,64
41,68	0,91	19,25	3,27	20,29	5,02	8,07	0,28	0,05	98,81
42,41	0,49	20,25	3,29	21,23	4,75	6,97	0,27	0,04	99,70
42,11	0,60	20,21	3,34	21,19	4,60	7,09	0,27	0,10	99,51
42,34	0,14	20,64	3,34	21,18	4,80	6,86	0,29	0,05	99,63
42,43	0,68	20,13	3,38	21,47	4,83	6,40	0,26	0,08	99,65
42,07	0,60	20,03	3,46	20,72	4,78	7,21	0,29	0,06	99,22
42,27	0,06	20,33	3,47	20,95	4,95	6,80	0,27	0,00	99,08
41,67	0,17	19,97	3,50	19,02	5,60	9,22	0,35	0,00	99,49
41,87	0,30	20,19	3,53	20,73	4,99	7,08	0,30	0,03	99,01
41,88	0,12	20,71	3,53	19,85	5,11	7,97	0,37	0,03	99,58
42,31	0,09	20,26	3,54	20,81	4,96	6,80	0,25	0,02	99,03
41,92	0,96	19,85	3,56	21,27	4,90	6,78	0,28	0,07	99,59
42,26	0,61	19,96	3,61	21,71	4,46	6,48	0,26	0,06	99,40
42,03	0,31	19,99	3,61	21,22	4,73	7,02	0,23	0,06	99,21
41,95	0,17	20,58	3,62	21,23	4,75	6,54	0,28	0,06	99,17
42,31	0,11	20,38	3,64	20,54	4,91	7,23	0,29	0,02	99,43
42,08	0,27	20,14	3,70	21,74	4,39	6,08	0,26	0,05	98,70
42,34	0,92	19,46	3,70	21,38	4,98	6,46	0,24	0,10	99,58
42,45	0,57	20,14	3,73	21,44	4,68	6,53	0,28	0,07	99,88
41,84	0,06	20,95	3,74	19,67	4,88	8,43	0,38	0,05	100,00
42,33	0,30	20,05	3,76	21,16	5,02	6,61	0,26	0,02	99,52
42,38	0,24	20,06	3,77	21,45	4,79	6,71	0,25	0,03	99,67
41,62	0,14	20,40	3,82	19,07	5,24	9,09	0,46	0,02	99,84

**Бассейн р. Подкаменная Тунгуска***уч. Мирюга*

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	180	180	180	180
x	4,48	19,91	5,03	8,21
s	1,91	1,22	0,91	1,19
min	1,33	15,87	1,33	6,31
max	11,08	23,65	7,94	12,93

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
180	180	58	20	1	8	9
	100,00%	32,22%	11,11%	0,56%	4,44%	5,00%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total
40,99	0,10	17,53	7,71	19,00	5,87	7,99	0,55	0,06	0,00	99,80
41,42	0,03	15,40	11,08	22,76	2,54	6,78	0,44	0,03	0,01	100,49
41,55	0,40	19,52	4,57	21,07	4,78	7,19	0,42	0,09	0,01	99,60
41,86	0,13	20,51	3,92	19,88	4,69	8,65	0,49	0,08	0,01	100,22
40,99	0,17	17,21	8,07	19,84	5,03	7,78	0,48	0,08	0,01	99,66
41,94	0,38	19,81	4,38	21,05	4,67	7,38	0,40	0,09	0,00	100,09
41,50	0,11	21,26	2,54	19,83	4,48	9,43	0,50	0,05	0,01	99,72
41,00	0,10	17,93	7,36	19,21	5,85	7,82	0,54	0,06	0,01	99,87
41,23	0,16	18,73	6,31	19,61	5,43	8,36	0,56	0,06	0,01	100,45
41,73	0,28	20,31	3,87	19,73	6,75	6,58	0,40	0,11	0,01	99,76
41,92	0,09	21,38	2,54	19,42	4,89	9,47	0,56	0,04	0,01	100,32
41,52	0,23	20,89	2,95	20,42	4,82	8,20	0,40	0,06	0,01	99,49
42,09	0,44	19,96	3,77	22,04	4,58	6,84	0,30	0,08	0,01	100,11
41,90	0,13	20,81	3,45	20,06	5,40	8,02	0,40	0,05	0,01	100,23
41,46	0,12	19,54	5,23	20,23	5,33	7,73	0,54	0,05	0,01	100,24
41,71	0,20	19,63	4,85	19,77	5,49	7,97	0,57	0,06	0,00	100,27
41,63	0,03	17,09	8,84	23,19	1,86	7,07	0,45	0,06	0,01	100,22
41,73	0,18	21,20	2,73	20,22	4,26	9,10	0,45	0,07	0,01	99,95
41,30	0,55	18,94	4,74	20,52	4,63	8,73	0,50	0,13	0,01	100,05
40,52	0,12	17,12	8,17	19,21	5,98	7,90	0,54	0,06	0,00	99,64
42,09	0,09	21,81	2,19	20,70	4,81	7,98	0,35	0,05	0,01	100,08
41,77	0,08	20,76	3,45	20,24	4,60	8,14	0,51	0,05	0,01	99,62
42,08	0,25	19,27	5,33	21,48	4,53	6,75	0,40	0,08	0,01	100,17
41,52	0,12	20,12	4,28	20,09	4,91	8,41	0,46	0,06	0,02	99,98
41,51	0,14	20,08	4,45	20,35	5,00	7,83	0,48	0,07	0,01	99,92
41,18	0,21	19,57	4,47	16,97	6,37	10,91	0,61	0,04	0,01	100,34

41,64	0,14	20,94	2,95	19,89	4,54	9,22	0,48	0,04	0,01	99,85
41,53	0,09	21,04	2,83	19,88	4,67	9,06	0,50	0,04	0,01	99,65
41,01	0,11	19,05	5,42	19,85	5,30	8,09	0,48	0,06	0,01	99,38
42,05	0,07	21,33	3,01	20,29	5,04	8,19	0,43	0,04	0,01	100,45
41,26	0,07	16,43	9,61	21,49	3,43	7,18	0,48	0,06	0,01	100,02
41,61	0,08	21,58	2,13	20,36	4,71	8,65	0,42	0,05	0,00	99,60
41,79	0,03	17,22	9,05	23,65	1,34	6,96	0,44	0,05	0,00	100,54
41,55	0,04	20,80	3,37	19,14	5,41	8,92	0,47	0,03	0,01	99,74
41,27	0,13	20,90	2,94	20,54	4,49	8,72	0,51	0,07	0,00	99,57
41,80	0,08	21,46	2,53	20,24	4,97	8,45	0,39	0,04	0,01	99,98
41,32	0,18	20,26	4,01	19,37	5,47	8,82	0,55	0,06	0,01	100,05
41,49	0,16	19,53	5,10	20,57	4,44	8,17	0,51	0,06	0,01	100,05
41,92	0,11	21,32	2,63	20,08	4,61	8,93	0,48	0,06	0,01	100,13
41,46	0,08	19,62	4,86	20,13	5,25	8,04	0,57	0,07	0,00	100,07
41,29	0,03	18,52	6,55	19,69	5,64	8,05	0,52	0,04	0,00	100,33
41,64	0,25	20,83	2,94	20,52	4,64	8,63	0,46	0,07	0,01	99,98
42,47	0,05	22,13	1,87	21,32	5,00	7,31	0,31	0,02	0,01	100,47
41,82	0,08	21,28	2,83	20,30	4,90	8,60	0,47	0,05	0,01	100,35
41,24	0,18	18,78	5,83	19,93	5,08	8,00	0,50	0,07	0,01	99,64
40,94	0,13	18,98	5,81	19,77	5,13	8,15	0,51	0,07	0,01	99,51
41,71	0,03	20,92	3,37	19,84	4,92	8,68	0,54	0,02	0,01	100,05
40,46	1,01	15,52	8,27	19,66	5,74	8,08	0,42	0,14	0,01	99,33
41,80	0,04	20,61	3,85	21,40	3,62	7,55	0,55	0,05	0,01	99,47
41,11	0,17	19,05	5,42	19,28	5,83	8,15	0,48	0,05	0,01	99,55
41,66	0,10	21,73	2,13	20,14	4,94	8,58	0,45	0,04	0,00	99,77
41,04	0,12	17,69	7,47	20,05	5,38	7,24	0,43	0,06	0,01	99,50
42,07	0,02	21,64	2,60	20,37	4,56	8,26	0,44	0,02	0,00	99,98
41,13	0,11	20,49	3,02	17,43	5,82	11,20	0,59	0,04	0,01	99,85
41,44	0,17	20,65	3,50	20,36	4,52	8,37	0,49	0,05	0,00	99,55
41,64	0,10	20,54	3,79	19,79	5,63	8,00	0,45	0,04	0,00	100,00
41,15	0,22	19,45	4,95	19,59	5,34	8,04	0,50	0,07	0,01	99,31
42,01	0,09	20,96	3,16	20,44	5,09	7,49	0,38	0,03	0,01	99,66
41,34	0,27	18,50	6,08	18,27	7,94	6,83	0,40	0,10	0,01	99,72
41,69	0,23	20,24	3,99	19,67	4,65	8,75	0,59	0,10	0,02	99,90
40,91	0,15	18,97	5,42	18,57	6,30	8,27	0,57	0,06	0,01	99,23
41,72	0,26	19,63	4,80	20,73	5,03	6,80	0,40	0,10	0,02	99,49
41,45	0,05	20,53	3,65	19,52	5,22	8,55	0,44	0,05	0,01	99,45
41,56	0,23	20,38	4,01	19,95	5,27	7,56	0,43	0,08	0,01	99,49
41,35	0,04	20,02	4,37	20,01	4,42	8,35	0,57	0,05	0,01	99,18
41,10	0,17	19,01	5,47	18,01	6,58	8,88	0,58	0,04	0,01	99,85
41,55	0,10	19,72	4,92	19,93	5,17	7,33	0,46	0,05	0,01	99,23

## уч. Тарыдак

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	88	88	88	88
x	5,69	19,59	5,41	8,12
s	2,38	1,36	1,12	1,25
min	1,01	15,72	2,03	6,03
max	11,91	22,74	8,62	13,22

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
88	88	51	23	4	3	8
	100,00%	57,95%	26,14%	4,55%	3,41%	9,09%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
40,96	0,53	16,32	8,69	19,06	6,62	6,99	0,37	0,10	99,64
42,24	0,06	20,75	3,88	21,66	3,50	7,75	0,48	0,03	100,35
41,58	0,10	19,82	4,93	19,45	5,46	8,19	0,46	0,04	100,03
41,26	0,46	18,40	5,26	19,07	4,98	9,77	0,44	0,09	99,74
41,03	0,09	16,48	9,30	19,82	5,36	7,37	0,41	0,04	99,90
42,29	0,29	20,43	3,39	21,83	4,47	7,01	0,29	0,06	100,07
41,49	0,00	20,25	4,43	19,72	5,48	7,74	0,42	0,03	99,57
41,71	0,50	18,98	5,66	20,37	5,11	7,04	0,38	0,11	99,85
40,36	0,13	15,48	10,21	18,38	7,09	7,31	0,49	0,03	99,48
41,54	0,10	20,79	3,46	19,91	5,22	8,26	0,41	0,02	99,71
41,53	0,17	19,68	4,89	19,77	4,94	8,49	0,48	0,06	100,00
41,58	0,83	19,36	4,77	21,13	5,40	6,03	0,25	0,07	99,41
41,30	0,18	19,08	5,59	19,41	4,96	8,40	0,46	0,07	99,45
40,86	0,37	18,23	5,76	18,80	5,42	9,37	0,39	0,06	99,27
41,24	0,11	18,19	6,82	19,17	5,63	8,03	0,43	0,05	99,67
42,15	0,12	21,77	2,50	20,62	4,65	8,14	0,43	0,06	100,44
41,33	0,06	17,71	7,32	19,02	5,93	7,52	0,44	0,05	99,39
41,46	0,26	19,25	5,64	20,10	4,88	7,95	0,49	0,07	100,10
41,11	0,23	17,84	7,24	19,12	5,52	8,30	0,52	0,06	99,95
41,67	0,13	18,91	5,79	20,20	5,23	7,60	0,41	0,03	99,97
41,19	0,49	18,19	6,33	19,68	5,61	7,69	0,39	0,09	99,66
41,55	0,14	19,66	4,84	19,47	5,12	8,51	0,49	0,05	99,84
41,94	0,04	20,62	3,73	19,80	5,30	7,93	0,40	0,03	99,80
40,85	0,12	16,55	9,09	18,56	6,73	7,76	0,48	0,03	100,17
41,30	0,14	18,86	6,27	18,26	6,44	8,42	0,57	0,05	100,31
40,96	0,06	16,46	8,90	18,05	6,83	8,07	0,46	0,05	99,84
41,63	0,02	19,23	6,08	19,71	6,03	7,45	0,42	0,03	100,59
41,82	0,36	19,01	5,65	20,62	4,98	7,45	0,36	0,06	100,30
41,44	0,58	18,17	6,36	19,73	6,52	7,24	0,39	0,10	100,53
41,60	0,53	19,62	4,31	21,16	4,48	7,41	0,34	0,08	99,53
42,07	0,04	20,73	4,17	20,62	5,88	6,29	0,27	0,04	100,09

41,14	0,18	17,07	8,67	20,50	5,49	6,29	0,32	0,07	99,71
41,03	0,15	19,41	5,28	19,13	5,66	8,27	0,52	0,07	99,51
41,09	0,02	19,58	5,30	18,35	6,16	8,40	0,58	0,02	99,49
40,81	0,32	18,61	6,03	17,70	8,62	7,17	0,38	0,09	99,72
41,10	0,00	19,26	5,72	18,96	6,15	8,03	0,47	0,03	99,70
40,74	0,23	16,92	8,54	19,30	5,95	7,57	0,46	0,05	99,74
41,21	0,32	18,47	6,31	19,97	5,22	8,04	0,39	0,08	100,02
40,79	0,24	19,27	5,45	17,70	7,05	8,54	0,67	0,07	99,78
41,49	0,00	20,14	4,77	19,61	5,84	7,93	0,46	0,02	100,25
40,92	0,03	17,38	8,29	19,65	5,11	7,92	0,51	0,02	99,84
41,42	0,34	19,56	4,87	20,19	5,66	7,36	0,41	0,07	99,88
41,66	0,21	20,92	3,43	18,88	7,44	7,04	0,42	0,07	100,07
41,47	0,13	19,94	5,25	19,92	5,26	7,38	0,41	0,08	99,83
40,83	0,15	17,24	8,13	18,54	5,71	8,84	0,46	0,09	99,98
41,27	0,15	18,98	5,77	18,88	5,69	8,50	0,48	0,06	99,81
41,09	0,07	18,25	6,70	18,86	6,02	8,23	0,42	0,03	99,66
41,97	0,93	20,65	1,01	20,22	4,71	10,16	0,31	0,11	100,07
41,81	0,46	20,73	2,99	20,25	4,36	8,81	0,47	0,08	99,96
42,15	0,80	20,17	2,97	21,36	4,60	7,75	0,31	0,11	100,22
41,56	0,88	20,82	1,12	20,59	4,51	9,57	0,36	0,13	99,54
41,59	0,65	21,31	1,77	21,29	4,18	8,22	0,34	0,08	99,42
40,95	0,17	20,53	2,75	16,97	6,11	12,30	0,47	0,06	100,32
41,50	0,40	19,97	3,83	19,08	5,41	9,15	0,46	0,10	99,89
40,90	0,14	20,40	2,55	15,72	6,28	13,22	0,57	0,01	99,79
40,85	0,44	20,04	3,01	17,24	7,19	10,11	0,62	0,11	99,61
41,03	0,12	20,36	3,05	16,92	6,18	11,50	0,41	0,04	99,61
42,11	0,50	19,85	4,04	21,35	4,52	7,44	0,32	0,08	100,20
41,51	0,01	20,00	4,59	20,32	4,75	7,74	0,44	0,04	99,41
41,08	0,03	18,61	6,47	18,49	6,87	7,74	0,43	0,01	99,71
41,75	0,16	21,75	2,14	20,13	4,85	8,58	0,37	0,04	99,76
41,03	0,06	20,75	3,85	19,87	5,57	8,13	0,49	0,03	99,77
41,02	0,24	19,15	5,41	18,88	5,45	8,61	0,50	0,09	99,35
41,19	0,18	19,11	5,47	19,51	5,15	7,98	0,55	0,08	99,23
40,02	0,18	13,84	11,91	17,06	8,15	7,62	0,50	0,04	99,31
41,16	0,11	18,74	6,01	19,51	6,14	7,06	0,38	0,04	99,16
40,68	0,15	19,97	3,60	17,02	6,42	10,88	0,43	0,05	99,19
41,71	0,49	20,20	3,29	21,29	4,57	7,47	0,34	0,09	99,46
40,89	0,38	18,08	6,59	19,89	5,10	7,97	0,40	0,11	99,40
41,56	0,50	19,93	4,03	20,44	4,66	8,04	0,38	0,11	99,64
41,35	0,10	20,56	3,80	20,03	5,31	8,01	0,45	0,03	99,64
40,92	0,12	19,06	5,57	18,91	5,51	8,76	0,55	0,07	99,48
41,43	0,41	19,14	5,23	20,27	5,44	7,19	0,39	0,09	99,60

**Чомполинское поле**

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	136	136	136	136
x	4,54	18,12	5,62	9,75
s	1,64	1,55	0,77	2,13
min	0,21	8,64	3,18	6,43
max	7,26	20,41	8,72	21,67

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
174	136	67	2	0	17	0
	78,16%	49,26%	1,47%	0,00%	12,50%	0,00%

Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Total
0,03	43,10	4,77	1,60	8,24	20,15	22,37	0,09	0,35	100,69
0,01	42,13	5,72	5,87	7,75	19,27	19,10	0,01	0,49	100,34
0,03	41,92	4,98	2,13	8,35	19,94	22,03	0,05	0,37	99,79
0,04	42,16	5,65	5,19	8,26	19,10	19,33	0,18	0,46	100,37
0,00	41,42	5,99	4,73	8,24	18,94	19,82	0,02	0,43	99,58
0,04	41,67	6,50	7,20	8,03	18,47	17,91	0,12	0,43	100,38
0,03	41,80	5,20	5,52	8,43	19,45	19,65	0,07	0,52	100,66
0,01	42,80	3,18	4,91	8,95	20,41	19,80	0,00	0,54	100,59
0,02	41,65	5,99	5,30	8,25	18,65	19,45	0,12	0,46	99,88
0,00	41,28	6,60	5,88	8,29	18,27	19,05	0,02	0,40	99,80
0,03	42,37	4,54	1,94	9,01	19,76	22,16	0,10	0,40	100,31
0,01	41,21	6,67	6,30	8,17	17,99	18,72	0,02	0,43	99,53
0,05	41,88	4,75	3,72	8,83	19,51	20,77	0,18	0,50	100,17
0,02	41,83	6,06	5,50	8,29	18,43	19,09	0,00	0,57	99,79
0,02	41,05	4,65	5,18	8,70	19,12	19,91	0,02	0,53	99,18
0,04	42,02	4,66	3,92	8,95	19,51	20,67	0,13	0,49	100,37
0,01	41,68	6,17	5,92	8,45	18,41	19,01	0,03	0,46	100,13
0,02	41,88	5,08	4,36	8,81	19,23	20,20	0,22	0,51	100,32
0,04	41,12	5,34	5,37	8,79	19,12	19,63	0,11	0,53	100,04
0,02	41,14	6,63	6,09	8,39	18,09	18,94	0,05	0,47	99,81
0,05	41,40	5,62	5,11	8,76	18,78	19,72	0,14	0,49	100,09
0,01	41,85	5,69	4,19	8,78	18,75	20,30	0,02	0,47	100,07
0,03	40,89	5,73	4,61	8,80	18,67	20,27	0,05	0,45	99,50
0,04	41,44	5,69	5,91	8,66	18,52	18,99	0,10	0,51	99,85
0,02	41,50	4,67	4,90	9,00	19,25	19,97	0,03	0,55	99,88
0,02	41,37	5,87	5,87	8,65	18,35	18,82	0,05	0,54	99,54
0,02	41,96	5,59	4,12	8,96	18,81	20,25	0,01	0,46	100,18
0,01	40,59	6,34	6,02	8,58	18,12	18,97	0,05	0,52	99,19
0,01	40,85	5,40	5,89	8,99	19,03	19,20	0,00	0,56	99,93
0,04	41,10	6,64	7,26	8,45	17,85	17,75	0,18	0,54	99,80
0,06	40,82	5,15	5,75	8,91	18,74	19,13	0,20	0,57	99,33
0,04	41,62	5,70	5,78	8,77	18,55	19,05	0,03	0,61	100,14
0,04	42,29	4,24	1,28	9,55	19,60	22,54	0,16	0,38	100,07

0,01	41,00	6,46	6,34	8,61	17,92	18,60	0,04	0,48	99,46
0,05	41,66	5,30	5,14	8,91	18,60	19,63	0,14	0,53	99,95
0,05	41,39	5,18	6,03	8,99	18,79	18,91	0,12	0,56	100,01
0,02	40,97	6,46	6,33	8,67	18,09	18,71	0,05	0,54	99,86
0,03	42,09	5,13	1,78	9,42	19,18	22,03	0,19	0,35	100,21
0,05	41,92	5,24	4,27	9,14	18,91	20,15	0,17	0,52	100,37
0,05	41,70	5,23	5,11	8,93	18,55	19,21	0,16	0,56	99,50
0,01	42,51	4,62	4,54	9,19	19,07	20,07	0,02	0,59	100,63
0,02	40,90	5,85	5,19	8,88	18,24	19,59	0,15	0,51	99,32
0,01	41,57	3,99	0,08	10,14	20,06	23,63	0,03	0,20	99,69
0,03	40,83	5,35	5,14	9,15	18,91	19,67	0,09	0,59	99,76
0,01	42,36	3,85	0,07	10,16	20,05	23,37	0,03	0,19	100,08
0,05	41,76	5,18	5,00	9,08	18,55	19,45	0,17	0,49	99,74
0,01	41,88	6,22	6,38	8,82	17,96	18,76	0,05	0,48	100,55
0,04	41,52	4,77	2,69	9,54	19,35	21,54	0,14	0,50	100,08
0,05	41,08	5,68	5,82	8,96	18,28	18,98	0,09	0,52	99,47
0,03	41,34	4,68	4,42	9,24	18,84	20,20	0,10	0,56	99,40
0,05	41,82	5,18	4,70	9,24	18,76	19,70	0,13	0,51	100,10
0,04	41,36	5,55	4,75	9,18	18,69	19,77	0,16	0,55	100,05
0,01	41,08	6,32	5,68	8,88	18,04	19,15	0,02	0,52	99,70
0,04	41,40	5,93	5,41	9,02	18,30	19,30	0,06	0,52	99,97
0,06	42,40	5,23	4,17	9,18	18,70	20,22	0,19	0,58	100,73
0,02	41,24	5,57	4,44	9,19	18,31	20,46	0,03	0,47	99,71
0,03	42,22	4,88	2,42	9,54	18,96	21,59	0,20	0,47	100,31
0,04	40,98	5,83	5,70	9,01	18,10	19,02	0,11	0,55	99,33
0,04	42,17	4,43	1,02	9,94	19,44	22,58	0,24	0,34	100,19
0,01	41,69	6,08	5,20	8,95	18,12	19,65	0,02	0,64	100,36
0,06	41,62	5,24	4,86	9,27	18,59	19,81	0,21	0,58	100,23
0,04	41,37	5,08	2,95	9,57	18,91	21,00	0,16	0,46	99,53
0,05	41,70	4,96	3,87	9,49	18,94	20,59	0,09	0,58	100,28
0,02	42,19	5,03	2,96	9,57	18,92	21,06	0,11	0,50	100,34
0,01	42,04	5,85	4,88	9,06	18,25	19,85	0,05	0,66	100,64
0,03	41,62	5,19	3,52	9,42	18,60	20,74	0,10	0,53	99,75
0,01	41,85	5,85	5,47	9,18	18,13	19,36	0,00	0,55	100,40
0,03	41,98	5,14	5,02	9,54	18,65	19,97	0,27	0,52	101,13
0,03	41,50	5,46	5,13	9,33	18,32	19,70	0,20	0,58	100,25
0,04	41,67	4,83	1,81	9,97	19,27	22,27	0,21	0,51	100,57
0,03	40,33	5,73	5,50	9,29	18,13	19,38	0,22	0,58	99,19
0,04	41,52	5,07	4,03	9,58	18,53	20,37	0,18	0,54	99,85
0,06	40,81	6,59	5,94	9,24	17,95	18,66	0,22	0,57	100,03
0,01	41,37	7,17	6,78	8,83	17,15	18,12	0,02	0,55	99,99
0,05	40,64	5,39	5,21	9,51	18,43	19,43	0,19	0,59	99,44
0,03	41,18	5,56	5,24	9,31	18,05	19,49	0,16	0,59	99,61
0,01	41,50	6,10	6,13	9,16	17,82	18,92	0,01	0,62	100,26
0,06	41,62	6,03	6,48	9,09	17,78	18,29	0,22	0,66	100,23
0,03	41,82	5,31	5,23	9,38	18,26	19,74	0,14	0,65	100,55
0,08	40,84	5,20	5,00	9,63	18,47	19,58	0,32	0,56	99,69
0,01	41,70	5,46	3,80	9,60	18,31	20,72	0,02	0,50	100,11

**Север Оленекского поднятия**

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	1471	1471	1471	1471
x	3,22	20,07	5,08	8,37
s	1,87	1,22	0,64	1,75
min	0,20	7,96	0,28	5,40
max	12,49	24,48	9,10	31,41

N	Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
1814	1471	228	60	6	430	9
	81,09%	15,50%	4,08%	0,41%	29,23%	0,61%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
41,16	0,89	21,02	0,20	17,60	5,33	13,08	0,44	0,12	99,84
41,59	0,75	21,31	0,20	18,50	4,44	12,12	0,42	0,09	99,42
38,27	0,02	21,16	0,20	8,50	0,28	31,41	0,31	0,03	100,18
41,15	0,81	21,25	0,21	18,60	4,93	12,05	0,38	0,09	99,47
41,39	0,47	22,14	0,21	18,80	4,59	11,28	0,42	0,06	99,37
41,74	0,66	22,13	0,22	19,99	4,58	10,08	0,36	0,09	99,84
41,62	0,42	22,20	0,22	19,15	5,17	10,52	0,41	0,07	99,77
41,67	0,90	20,99	0,22	18,20	5,26	11,52	0,42	0,09	99,26
41,25	0,76	21,44	0,23	18,61	4,82	11,49	0,39	0,07	99,07
41,59	0,36	22,52	0,23	19,86	4,06	10,51	0,31	0,07	99,51
41,85	0,69	21,93	0,23	19,53	4,79	9,95	0,36	0,13	99,46
41,54	0,83	21,66	0,23	18,74	4,80	11,70	0,40	0,10	100,00
38,29	0,07	21,03	0,25	7,96	2,62	29,19	0,81	0,03	100,22
41,66	0,91	21,62	0,26	19,10	4,88	11,03	0,37	0,09	99,93
39,17	0,02	21,53	0,26	10,06	1,53	26,39	2,07	0,00	101,02
41,51	0,74	21,51	0,26	19,47	4,72	10,82	0,33	0,09	99,44
41,60	0,68	21,77	0,27	19,95	4,46	10,77	0,42	0,08	100,00
41,41	0,76	21,60	0,27	18,11	4,19	13,84	0,31	0,15	100,62
41,31	0,85	21,51	0,28	18,78	4,73	11,77	0,38	0,08	99,70
41,53	0,70	21,77	0,29	20,16	4,78	9,63	0,36	0,15	99,36
41,16	1,23	21,25	0,31	19,45	4,18	10,72	0,36	0,09	98,73
41,30	0,75	21,46	0,32	18,62	4,83	11,24	0,36	0,07	98,94
41,59	0,79	21,78	0,32	19,19	4,51	11,16	0,33	0,06	99,73
41,58	0,88	21,43	0,33	19,37	4,50	11,08	0,40	0,11	99,68
41,16	0,90	21,12	0,33	19,25	4,98	10,92	0,34	0,08	99,07
41,75	0,79	22,04	0,34	19,26	4,71	10,98	0,35	0,09	100,30
41,34	0,39	22,10	0,35	19,17	5,25	10,35	0,42	0,07	99,42
41,89	0,71	22,09	0,35	20,09	4,65	10,61	0,32	0,10	100,81
41,36	0,73	21,51	0,36	18,58	4,37	12,31	0,37	0,08	99,65
41,52	1,20	20,83	0,36	18,89	4,64	11,82	0,32	0,12	99,68
41,60	0,77	21,90	0,37	19,09	4,72	11,02	0,37	0,09	99,91
41,40	0,71	21,34	0,37	19,15	4,84	10,29	0,34	0,09	98,53
41,73	0,69	21,85	0,39	19,44	3,69	11,68	0,39	0,05	99,91
40,97	1,48	20,99	0,39	17,96	6,03	10,76	0,37	0,11	99,06
41,80	0,66	21,89	0,40	19,98	4,66	10,60	0,34	0,06	100,38

41,10	0,82	21,42	0,40	18,68	4,78	11,10	0,38	0,07	98,74
41,77	0,74	21,78	0,40	19,72	4,45	10,79	0,39	0,09	100,12
41,60	0,66	22,01	0,41	19,34	4,47	10,62	0,35	0,06	99,53
41,60	0,97	21,11	0,42	19,17	4,82	10,95	0,40	0,13	99,58
42,08	0,86	21,61	0,42	19,40	4,75	10,94	0,39	0,10	100,56
41,31	1,29	21,00	0,42	19,47	4,23	10,78	0,37	0,07	98,95
41,72	0,61	21,85	0,43	19,78	4,68	10,46	0,35	0,06	99,95
41,30	0,55	21,49	0,44	18,29	4,48	12,66	0,48	0,08	99,76
41,51	0,79	21,65	0,44	19,07	4,90	11,57	0,36	0,11	100,40
41,46	0,76	21,42	0,45	18,64	4,71	12,30	0,39	0,08	100,21
41,75	0,77	21,56	0,45	18,95	4,93	11,58	0,37	0,08	100,43
41,34	0,83	21,49	0,46	18,54	4,68	12,06	0,35	0,08	99,83
41,73	0,66	22,04	0,46	19,50	4,70	11,04	0,36	0,11	100,61
41,96	0,68	22,07	0,46	19,67	4,61	10,65	0,35	0,09	100,53
41,16	0,80	21,12	0,47	19,27	4,93	11,43	0,37	0,07	99,61
41,86	0,54	21,98	0,47	19,93	4,66	10,28	0,34	0,08	100,13
40,98	0,87	21,52	0,47	19,75	4,63	10,72	0,34	0,12	99,40
41,25	0,77	21,59	0,49	18,96	4,66	11,93	0,35	0,07	100,06
41,24	0,64	21,55	0,51	18,87	4,74	11,42	0,39	0,08	99,42
41,46	0,84	21,38	0,51	19,43	4,94	11,54	0,37	0,07	100,53
42,04	0,54	21,79	0,53	20,39	4,56	8,83	0,28	0,05	99,02
41,62	0,77	21,63	0,53	19,22	4,78	11,45	0,38	0,10	100,46
41,70	0,67	21,66	0,54	18,91	4,60	11,33	0,34	0,07	99,81
41,35	0,75	21,48	0,54	19,07	4,86	11,33	0,37	0,09	99,82
41,68	0,65	21,60	0,54	19,68	4,63	10,17	0,33	0,06	99,33
41,27	0,77	21,39	0,54	18,84	4,88	11,81	0,37	0,10	99,97
41,41	0,87	21,25	0,55	19,57	4,77	10,58	0,36	0,10	99,46
41,85	0,56	21,89	0,55	19,90	4,62	9,46	0,31	0,07	99,23
41,15	0,77	21,29	0,56	19,03	4,94	11,80	0,37	0,07	99,97
41,45	1,07	20,86	0,56	19,35	4,65	10,95	0,36	0,11	99,35
41,29	0,68	21,31	0,56	18,99	4,87	10,61	0,34	0,09	98,73
41,74	0,78	21,65	0,56	21,29	4,39	9,26	0,26	0,08	100,01
41,10	0,78	21,24	0,57	18,74	4,92	11,29	0,34	0,09	99,06
41,15	0,75	21,37	0,57	19,44	4,78	10,92	0,36	0,08	99,42
41,23	0,94	21,22	0,58	19,33	4,53	11,05	0,36	0,11	99,34
41,94	0,58	21,81	0,58	20,14	4,59	9,68	0,31	0,07	99,69
41,29	0,81	20,98	0,58	19,13	5,06	10,82	0,37	0,08	99,12
40,36	0,53	21,61	0,59	17,15	4,68	14,01	0,38	0,13	99,42
41,66	0,83	21,31	0,60	20,57	4,58	9,65	0,26	0,09	99,55
41,66	0,74	21,37	0,62	19,02	4,88	11,71	0,38	0,08	100,44
41,46	0,95	20,67	0,64	19,51	4,43	10,61	0,38	0,16	98,80
41,46	0,64	21,68	0,66	19,36	4,86	10,79	0,37	0,08	99,91
41,43	0,68	21,66	0,66	19,87	4,65	10,25	0,35	0,08	99,63
41,81	0,87	21,25	0,67	20,17	4,92	9,68	0,30	0,10	99,77
41,65	1,03	20,75	0,69	20,29	4,60	10,01	0,31	0,11	99,43
41,56	0,69	21,34	0,69	20,60	4,89	9,67	0,33	0,08	99,84
41,44	0,80	21,26	0,69	20,01	4,77	9,27	0,24	0,08	98,56
41,71	0,69	21,94	0,71	20,97	4,54	8,76	0,27	0,09	99,67

**Накыньское поле**

	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO
N	255	255	255	255
x	5,84	19,78	5,34	7,82
s	2,80	1,00	1,05	0,87
min	0,32	16,80	2,82	6,18
max	14,32	22,33	9,41	11,41

Пироп	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 5	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2	Алм. асс.
255	154	101	14	24	11
98,84%	60,39%	39,61%	5,49%	9,41%	4,31%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	FeO	MnO	Na <sub>2</sub> O	Total
42,19	0,13	23,06	0,32	19,33	3,97	10,98	0,28	0,06	100,32
42,61	0,15	23,02	0,74	20,68	4,05	8,40	0,43	0,03	100,10
42,44	0,25	22,75	0,84	19,98	4,30	9,84	0,44	0,08	100,91
42,35	0,22	22,78	0,87	20,94	3,82	8,86	0,42	0,06	100,33
42,36	0,16	22,90	0,90	20,63	4,03	8,70	0,36	0,04	100,09
43,13	0,20	23,06	1,08	22,33	3,79	6,58	0,31	0,08	100,56
42,51	0,11	22,69	1,26	20,89	4,61	7,73	0,42	0,06	100,28
42,16	0,20	22,48	1,32	19,98	4,14	9,69	0,50	0,05	100,51
42,24	0,22	22,28	1,37	19,78	4,27	9,92	0,49	0,07	100,62
41,36	0,20	21,90	1,40	18,97	4,20	11,06	0,46	0,10	99,64
42,10	0,21	22,32	1,41	19,82	4,00	9,93	0,50	0,07	100,36
41,65	0,19	22,05	1,45	19,67	4,26	9,74	0,50	0,03	99,56
42,20	0,26	22,07	1,46	20,31	4,49	9,30	0,42	0,05	100,55
41,96	0,07	22,35	1,46	21,05	4,03	7,73	0,40	0,03	99,07
42,18	0,17	22,38	1,52	20,48	5,56	7,27	0,36	0,05	99,98
42,35	0,21	22,15	1,65	21,00	4,01	8,25	0,46	0,04	100,11
41,97	0,20	22,01	1,65	19,34	4,28	10,37	0,47	0,06	100,35
41,98	0,10	22,29	1,66	19,26	4,79	9,40	0,44	0,04	99,96
41,99	0,09	22,26	1,68	20,17	5,13	7,79	0,49	0,02	99,62
42,04	0,26	21,87	1,76	19,30	4,46	10,30	0,49	0,07	100,55
42,05	0,20	21,83	1,84	19,12	4,53	10,50	0,50	0,04	100,60
42,15	0,38	21,73	1,87	20,86	4,21	8,29	0,39	0,09	99,95
42,13	0,55	21,31	1,88	20,32	4,84	8,80	0,48	0,11	100,42
42,42	0,12	22,12	1,93	20,33	4,17	8,75	0,48	0,03	100,35
42,17	0,16	21,98	2,03	20,38	3,97	8,92	0,47	0,07	100,15
42,15	0,21	21,93	2,11	20,53	4,44	7,97	0,43	0,05	99,82
41,81	0,20	21,47	2,13	19,51	4,44	9,77	0,50	0,00	99,83
42,10	0,14	21,89	2,13	20,34	4,22	9,14	0,52	0,07	100,54
42,42	0,10	22,03	2,15	21,09	4,02	7,42	0,43	0,04	99,69

42,34	0,25	21,69	2,25	20,43	4,07	8,84	0,49	0,08	100,43
42,14	0,21	21,56	2,29	19,87	4,62	8,81	0,49	0,03	100,02
42,10	0,20	21,68	2,34	20,47	4,47	8,00	0,45	0,07	99,77
42,14	0,11	21,71	2,37	19,51	4,77	8,99	0,50	0,05	100,15
42,06	0,08	21,78	2,41	20,00	4,42	8,93	0,49	0,01	100,20
42,11	0,14	21,69	2,42	20,05	4,59	8,71	0,47	0,00	100,18
41,45	0,57	20,51	2,50	19,24	5,61	9,09	0,50	0,12	99,60
41,97	0,17	21,46	2,52	20,29	4,23	9,33	0,55	0,04	100,55
42,14	0,10	21,68	2,56	19,06	6,34	7,96	0,51	0,02	100,36
41,67	0,13	21,21	2,58	17,43	5,10	11,41	0,69	0,05	100,25
41,64	0,77	20,23	2,59	18,80	6,04	8,75	0,47	0,12	99,41
41,95	0,10	21,58	2,60	19,43	4,48	9,65	0,57	0,06	100,41
41,84	0,12	21,36	2,66	19,78	4,86	8,87	0,50	0,01	100,00
42,14	0,08	21,52	2,67	20,12	4,41	8,16	0,51	0,03	99,62
42,12	0,11	21,36	2,72	19,24	4,58	9,46	0,56	0,04	100,18
41,97	0,03	21,53	2,81	19,56	5,18	8,35	0,61	0,00	100,05
42,33	0,04	21,46	2,83	21,29	3,52	7,97	0,44	0,01	99,88
41,95	0,05	21,40	2,89	20,33	4,13	8,72	0,53	0,00	100,01
41,65	0,12	21,26	2,89	19,15	5,88	8,15	0,53	0,05	99,68
42,25	0,19	21,02	2,91	21,48	4,49	7,00	0,34	0,02	99,71
41,96	0,13	21,21	2,93	20,46	4,46	7,87	0,47	0,07	99,56
42,14	0,05	21,39	2,94	20,79	4,03	8,10	0,45	0,03	99,91
41,86	0,13	21,23	2,96	20,15	4,28	8,72	0,49	0,04	99,86
42,36	0,11	21,50	2,97	20,76	4,32	7,92	0,48	0,06	100,48
41,90	0,13	21,20	3,00	19,97	4,51	8,32	0,48	0,03	99,54
42,09	0,24	21,15	3,00	20,60	4,64	7,84	0,45	0,10	100,10
41,76	0,18	20,98	3,01	20,41	3,98	8,86	0,52	0,04	99,73
42,00	0,15	21,26	3,02	19,67	5,28	8,25	0,48	0,04	100,15
42,13	0,11	21,36	3,04	20,39	4,26	8,36	0,53	0,05	100,23
41,55	0,13	21,04	3,10	19,32	4,48	9,72	0,53	0,01	99,89
41,89	0,22	20,94	3,10	19,36	6,21	7,64	0,41	0,09	99,86
41,73	0,24	20,92	3,11	19,24	5,64	8,13	0,46	0,09	99,55
41,87	0,09	21,19	3,13	19,85	5,41	8,31	0,58	0,03	100,45
41,81	0,47	20,59	3,15	21,08	4,26	7,65	0,36	0,10	99,46
41,38	0,13	20,81	3,16	19,22	4,69	9,73	0,53	0,03	99,68
41,99	0,10	21,17	3,27	19,90	4,43	9,02	0,52	0,01	100,40
41,72	0,51	20,37	3,29	20,84	4,46	7,98	0,42	0,08	99,67
41,45	0,05	20,85	3,30	18,95	5,83	8,38	0,62	0,02	99,46
41,69	0,53	19,97	3,31	19,25	4,84	9,82	0,48	0,13	100,03
42,39	0,05	21,21	3,35	20,37	4,45	8,21	0,50	0,04	100,57
42,22	0,41	20,69	3,37	20,96	3,88	8,21	0,38	0,14	100,25
42,01	0,34	20,52	3,40	21,05	4,34	7,78	0,38	0,06	99,88
41,91	0,49	20,18	3,43	21,34	4,69	6,99	0,36	0,09	99,48

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2.**

**Морфологические особенности ИМК из ореолов Сибирской платформы.**

Район	Σ	пироп								
		куб.кор.	морфология					Цвет		
			износ	оранж.	красн.	фиол.				
1	2	3	4	5						
Муно-Мархинское междуречье	3217	265	290	1609	676	515	129			
		8,2%	9,0%	50,0%	21,0%	16,0%	4,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Анабаро-Уджинское междуречье	3773	2280	0	2725	838	178	31	797	124	2878
		60,4%	0,0%	72,2%	22,2%	4,7%	0,8%	21,1%	3,3%	76,3%
Бас. Подкаменной Тунгуски (уч. Тарыдак)	367	364		354	1		9			
		99,2%	0,0%	96,5%	0,3%	0,0%	2,5%	0,0%	0,0%	0,0%
Чомполинское поле	491	15	8	431	46	5	1	215		260
		3,1%	1,6%	87,8%	9,4%	1,0%	0,2%	43,8%	0,0%	53,0%
Север Оленекского поднятия	920	13	9	705	160	25	21	132	62	471
		1,4%	1,0%	76,6%	17,4%	2,7%	2,3%	14,3%	6,7%	51,2%
Накынское поле	268	239		252	10	3	3	20	0	243
		89,2%	0,0%	94,0%	3,7%	1,1%	1,1%	7,5%	0,0%	90,7%

Район	пикроильменит							Хромит		
	Σ	МПР	износ					Σ	кур	кимб
			1	2	3	4	5			
Муно-Мархинское междуречье	<b>2945</b>	656	154	524	1638	458	171	<b>0</b>		
		22,3%	5,2%	17,8%	55,6%	15,6%	5,8%			
Анабаро-Уджинское междуречье	<b>8019</b>	793	9	2700	3369	1648	293	<b>565</b>	565	0
		9,9%	0,1%	33,7%	42,0%	20,6%	3,7%		100,0%	0,0%
Бас. Подкаменной Тунгуски (уч. Тарыдак)	<b>0</b>							<b>0</b>		
Чомполинское поле	<b>10</b>	2	1	6	3			<b>36</b>	29	7
		20,0%	10,0%	60,0%	30,0%	0,0%	0,0%		80,5%	9,5%
Север Оленекского поднятия	<b>15538</b>	3052	12	10225	4409	835	69	<b>3031</b>	3026	5
		19,6%	0,1%	65,8%	28,4%	5,4%	0,4%		99,8%	0,2%
Накынское поле	<b>1</b>	0	0	0	1	0	0	<b>4</b>	4	0
		0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%		100,0%	0,0%