

УДК 549.12: 553.8

Алмазы и их спутники в алмазоносных отложениях бассейна Моря Лаптевых

Т.В. ПОСУХОВА, М. А. СОКОЛОВА (Геологический факультет Московского Государственного университета имени М.В. Ломоносова)

Алмазы и их спутники (гранаты и рудные минералы) изучены комплексом спектроскопических методов. Установлено, что изученные отложения – это полимиктовые конгломераты, которые не содержат вулканогенных остатков и являются коллекторами барофильных минералов. Выявлено сходство с алмазами Золотицкого поля в Архангельской провинции и лампроитовыми. Установлены следы механогенной обработки и гипергенной коррозии, выявлены ксеногенные зерна гранатов и других минералов из пород фундамента и чехла, что предполагает множественность источников сноса.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, кимберлиты

Diamonds and accompanying minerals in from diamondiferouse deposits of the Laptev SEa bassin

T.V. POSUKHOVA, M.A. SOKOLOVA

Were examined morphology and physical properties of diamonds and accompanying minerals from different diamond-bearing deposits of Northern Yakutiya. It was established that studied sediments were formed as a polymictic conglomerates and haven't the volcanogenic materials. This complex rocks contain rounded and fragmented mineral grains, most of which bear the traces of mechanical processing which are typical for coastal marine sediments. It was concluded that the studied deposits are the collectors of xenogeneic kimberlitic minerals from different sources.

Key words: diamonds, placers, kimberlites

Адрес: 119899, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, МГУ, Геологический факультет, кафедра минералогии

Введение

На севере Якутской алмазоносной провинции давно разрабатываются богатые россыпи алмазов, источники которых не известны [4, 5]. На сегодняшний день существует несколько гипотез их образования: кимберлиты из уже известных полей [7, 21], близко расположенные, но еще не открытые, кимберлиты в акватории Моря Лаптевых [25], докембрийские кимберлиты [2, 23, 24] или щелочно-ультраосновные породы и лампроиты [9, 20]. Также предполагают, что породы карнийского возраста, в которых залегают алмазы, представляют собой древние промежуточные коллекторы, в которых аккумулярованы алмазы из разных источников, перешедшие потом в современные четвертичные россыпи [11, 28, 34]. Возможно, что эти отложения являются вулканогенными туффизитами и первичными источниками алмазов [13, 14, 31, 35].

Для проверки этих гипотез целесообразно проведение комплексных минералогическо-петрографических исследований разновозрастных рыхлых алмазоносных отложений бассейна Моря Лаптевых и сравнение их с коренными алмазоносными объектами, известными на севере Якутии.

Объекты и методы исследования

Объекты исследований – это шлиховые пробы из рыхлых отложений Приморского, Нижнеолёнского, Анабарского и Куонамского алмазоносных районов (рис. 1). Изучены пробы гранатов из устья рек Хорбусуонка, Дебенгде и Кютюнгде, а также из участков Улегир и Чичах-Чимара (верховья р. Маят). Исследованы шлиховые пробы из аллювия реки Малая Куонамка и из верхнетриасовых карнийских отложений кряжа Чекановского и устья реки Булкур. Материал передан нам для исследований Институтом геологии алмаза и благородных металлов СО РАН. Также было проведено изучение морфогенетических и оптических характеристик кристаллов алмаза из террасовых и пойменных четвертичных отложений Северной Якутии. Покристалльное описание зерен проведено по схемам, предложенным в работе [22].

Состав пород и минералов изучен спектроскопическими методами. *ИК спектроскопические исследования* проводились на ИК-Фурье спектрометре ФСМ 1201 на кафедре минералогии МГУ им. М.В. Ломоносова, аналитик - Бушуева Е.Б. *Рентгенофазовые исследования* проведены на дифрактометре АДП-2, аналитик - Ксенофонтов Д.А. *Термический анализ* выполнен на дериватографе «Q-1500 D» (Венгрия), аналитик – Мельчакова Л.В. Исследования методом *растровой электронной микроскопии* (РЭМ) проводили на электронном микроскопе LEO 1450VP (аналитик – Соколов В.Н.) и на микрозондовом комплексе «Jeol JSM-6480LV» (аналитик – Коротаева Н.Н.). Количественный химический анализ выполнен на *микрозондовых комплексах Camebax SX50*

(аналитик – Ханин Д.А.) и «Jeol JSM-6480LV» (аналитик – Марущенко Л.И.). Статистическая обработка данных и разделение на химико-генетические группы проведена по методике, предложенной в работе [Богатиков и др., 1999]. Оптические спектры алмаза получены на микроспектрофотометре MPS-2000 фирмы «Shimadzu» (Япония), аналитик Васильева Е.Р.

Характеристика алмазов из изученных россыпей

Было проведено покристальное описание алмазов из россыпей Анабарского и Приморского алмазоносных районов. Исследования выявили их различия по распространенности кристаллов разных габитусных типов (рис. 2). В россыпи *Биллях* преобладают *сростки* кривогранных и октаэдрических кристаллов (60%), бесцветные и с желтоватым оттенком, нередко наблюдается коррозионный рельеф и следы истирания (рис. 2а). В россыпи *Кангалас-Юсле* преобладают *додекаэдрониды* (44%), алмазы желтоватых оттенков, много кристаллов серой окраски. В россыпи *побережья моря Лаптевых* также преобладают додекаэдрониды (60%), много обломков и осколков, кристаллы бесцветные и желтоватые. В россыпи *Хатыгын-Уэлет* встречены октаэдрические кристаллы с отчетливыми следами износа. Сравнение распределения габитусных типов кристаллов алмаза в россыпях с алмазами из лампроитов [16] и кимберлитов в Архангельской провинции [22] и в Якутии [18] показывает, что изученные алмазы имеют сходство с кимберлитами месторождения им. М.В. Ломоносова и с лампроитовыми. Сходство подтверждено и на основе изучения *спектроскопических характеристик*. Были исследованы 70 оптических спектров и выявлено преобладание (55%) кристаллов с дефектом N3 (полосы 413 и 476 нм), который является наиболее распространенным в природных алмазах из кимберлитов и лампроитов [8]. Для установления условий формирования россыпей и дальности переноса алмазов от первоисточника важны *наличие и степень механического износа*. Результаты, полученные при исследовании алмазов в РЭМ [15] показали, что поверхность кристаллов покрыта выбоинами (рис. 1а). Наибольшее количество материала, содержащего истертые кристаллы, и материала с наибольшей коррозионной проработкой (каналы, трещины, примазки) отмечается в россыпях Кангалас-Юсле и Хатыгын-Уэлет. В речном потоке алмазы раскалываются, а не окатываются и не истираются [17, 30]. Напротив, алмазы, поступившие в россыпи из коллекторов прибрежно-морского генезиса, имеют следы интенсивного механического износа. Следовательно, изученные россыпи имеют смешанный характер и образовались как за счет прямого сноса материала, так и за счет древних промежуточных коллекторов. Полученные результаты совпадают с нашими более ранними данными [15], которые выявили различия в распределении разных типов кристаллов алмаза в

изученных россыпях. Было установлено, что каждая из россыпей обладает своими особенностями морфологии алмазов, что может означать *наличие разных источников сноса*.

Минералогия рыхлых алмазоносных отложений

Особенности минерального состава рыхлых отложений также позволяют подойти к решению вопроса об их генезисе. Исследования методом *ИК спектроскопии* показали, что преобладающий в пробах темный минерал является шамозитом (Fe-хлоритом), рудные минералы представлены хромитом, а светлые зерна соответствуют монтмориллониту. Данные (55 обр.) полученные методом *рентгенофазового анализа* также показали, что в пробах присутствуют шамозит и монтмориллонит. Метод *термического анализа* выявил эффекты, которые соответствуют удалению межслоевой и абсорбционной воды в монтмориллоните и опале, удалению структурной (гидроксильной) воды из монтмориллонита и окислению Fe^{+2} в хлорите. Методом *РЭМ* в породах установлены полиминеральные микро- и скрытокристаллические агрегаты, в которых преобладающей фазой являются слоистые силикаты. Выявлены зерна кремнистого состава (рис. 3 а), которые имеют биогенное происхождение (диатомовые водоросли). Поверхности зерен (рис. 3б) несут на себе следы *механогенного износа* (царапины, выбоины, сколы). По изображениям в отраженных электронах (рис.3) установлены разные типы зерен (рис. 3). Преобладают полиминеральные округлые зерна с изометричными и овальными включениями или обломками полевых шпатов в тонкозернистой скрытокристаллической массе, состоящей из слоистых силикатов. Выявлены полиминеральные округлые зерна, сложенные скрытокристаллическим агрегатом слоистых минералов с включениями лейкоксена и рутила. Установлены обломки пород (литокласты), сложенные зернами полевых шпатов округлой и неправильной формы, сцементированные скрытокристаллическими силикатами. Диагностированы включения пирита и кремнезема в полиминеральном литокласте, сложенном скрытокристаллическим агрегатом слоистых силикатов. Выявлены включения негомогенной смеси вторичных оксидов Ti и Si, соответствующей лейкоксену. Установлено полифазное строение скорлуповатых частиц, цементирующих округлые зерна, слагающие конгломератовые агрегаты и крустификационная структура цемента литокластов. Результаты *количественного химического анализа* позволили выделить следующие минеральные фазы: кварц (?), железистый хлорит, рутил (?), альбит (табл. 1). Отклонения от стехиометрии полученных формул связаны с тем, что размеры выделений слишком малы и в анализ вовлекается не только анализируемая фаза, но и окружающая ее минеральная подложка. Было установлено, что большая часть образцов состоит из полиминерального скрытокристаллического агрегата, точный химический состав которого рассчитать проблематично. По процентному содержанию оксидов можно предположить, что некоторые

смеси соответствуют лейкоксену, а остальные смеси представляют собой полиминеральный агрегат, сложенный смешано-слоистыми силикатами (железистым хлоритом, монтмориллонитом, гидрослюдами). Некоторые фазы не устойчивы и разрушаются под воздействием электронного пучка. Таким образом, изучение фазового и химического состава породообразующих минералов показывает, что рыхлые алмазоносные породы сложены зернами округлой и обломочной формы, имеющими разный минеральный состав (кварц, рутил, полевые шпаты, пирит, хлорит). Эти зерна сцементированы скрытокристаллическим агрегатом, состоящим из слоистых силикатов (хлорит, монтмориллонит, иллит), имеющим крустификационную текстуру. Они образуют конгломерат из округлых и раздробленных зерен со следами механогенной обработки.

Индикаторные минералы кимберлитов

Были изучены разные минералы-спутники алмаза. Среди *рудных минералов* выявлены целые округло-овальные зерна, иногда с элементами огранки. *Гранаты* из разных алмазоносных районов различаются по степени сохранности (рис. 4а) и по распределению цветовых групп (рис. 4б). Гранаты Нижнеоленекского района, в основном, представлены *осколками* лилового цвета. В пробах из Анабарского района преобладают *целые* зерна пурпурно-красного цвета. В пробах из кряжа Чекановского чаще встречаются пурпурно-красные *обломки*. В пробах из Куонамского района найдены обломки *буро-коричневого цвета*. По результатам исследований в РЭМ установлено несколько типов поверхности зерен: блестящая гладкая, шероховатая тонко-матированная, пирамидально-черепитчатая и ямчато-бугорчатая. Только осколки зерен не несут следов механогенного износа (царапины, выбоины, сколы), тогда как на поверхности остальных зерен из всех изученных проб такие следы были найдены (рис. 3). Были установлены зерна в «рубашках» вторичных минералов и с келифитовой каймой. Полученные результаты свидетельствуют о множественности возможных первоисточников гранатов [36]. Эти выводы подтверждены результатами изучения *химического состава гранатов* (108 обр.). На парагенетической диаграмме (рис. 4), предложенной Н.В. Соболевым [33], большая часть анализов попадает в поле, отвечающее гранатам лерцолитового парагенезиса. В поле IV, отвечающее алмазоносному дунит-гарцбургитовому парагенезису, попал только один анализ граната из проб Приморского района. Результаты дискриминантного анализа показали (рис. 5), что составы гранатов из разных отложений соответствуют разным первоисточникам. Установлены следующие химико-генетические группы гранатов в соответствии с классификацией [6]: 3, 4, 5 – алмазные равномернозернистые лерцолиты с высоко-, средне- и низкохромистым гранатом, 8 – слабоалмазоносные равномернозернистые (часто катаклазированные) ильменитовые лерцолиты с низкохромистым титанистым гранатом, 9 – лерцолиты и

вебстериты с низкохромистым гранатом, 19 - алмазоносные ильменит-рутиловые магнезиально-железистые эклогиты, 30 – эклогитоподобные породы, 31 – гранаты не кимберлитового генезиса. Распределение гранатов по группам указывает на относительно высокую долю минералов из ильменитовых и эклогитовых парагенезисов (группы 8, 10, 19, 24). Такие гранаты не характерны для лампроитов и малоспутниковых кимберлитов группы II. Можно предположить и невысокую степень гипергенной проработки материала, поскольку такие гранаты не устойчивы в процессах гипергенеза. Для других минералов-спутников (ильмениты, хромшпинелиды, пироксены), составы которых представлены в таблице 2, также выделено несколько химико-генетических групп. Полученные результаты свидетельствуют о большой засоренности проб ксеногенным некимберлитовым материалом. Установлено только одно зерно ильменита из неалмазоносных перидотитов и энстатититов, а остальные не отвечают составу этого минерала из кимберлитов. Только один хромшпинелид попал в группу неалмазоносных перидотитов с низкохромистой шпинелью, а остальные – не кимберлитовые. Среди пироксенов, один анализ попал в группу алмазоносных ильменит-рутиловых магнезиально-железистых эклогитов, а остальные имеют не кимберлитовый генезис.

Сопоставительная характеристика рыхлых отложений и их возможных первоисточников

Состав алмазоносных грубообломочных образований карнийского яруса был изучен ранее [23, 27, 34]. В работе [27] предполагается, что эти породы, сложенные смесью вторичных слоистых силикатов, возникли в результате замещения первичных минералов, слагавших протолит, представленный измененными вулканогенными туфами. Сопоставление данных, полученных в этих работах, и наших данных выявляет их сходство и различия. По нашим данным основной фазой везде является железистый хлорит – шамозит, а второстепенные минералы представлены монтмориллонитом, оксидом кремния (квасц, опал), полевыми шпатами (альбит, сосюритизированные обломки калиевого полевого шпата, андезин), оксидами титана (рутил, лейкоксен). Оксиды и гидроксиды железа обнаружены в образцах из Малой Куонамки. В этих же объектах встречены обломки пироксенитовых пород, в которых состав пироксенов (табл. 2) и гранулитовая структура пород указывают на их метаморфический генезис. Также были установлены сростки граната с полевыми шпатами и кварцем. Такие сростки типичны для метаморфических сланцев. Хлорит, который мы изучали, отличается большим содержанием железа (шамозит, тюрингит), по сравнению с данными [27]. Такие минералы типичны для хлоритовых сланцев и образуются при замещении железистых пироксенов. Полученные данные показывают, что полиминеральный состав связующей массы и обломков в изученных рыхлых отложениях характерен для

континентальных осадочных пород. Если бы изученные породы являлись вулканогенными туфами, то в их составе преобладали бы минералы ультраосновных пород или минералы, их замещающие (серпентин, сапонит).

Это предположение хорошо согласуется с результатами изучения связующей массы кимберлитовых тел Якутии [19] и их сопоставлением с составом изученных рыхлых отложений. Выявляются существенные различия в минеральном составе пород, слагающих коренные тела и рыхлые отложения. Связующая масса коренных объектов сложена, в основном, кальцитом и серпентином, в то время как связующая масса изученных рыхлых пород представлена железистым хлоритом и монтмориллонитом, в которых присутствуют обломки минералов из разнообразных метаморфических и магматических пород и минералы-спутники алмаза. Для коренных тел Якутии, сложенных кимберлитами, характерно преобладание серпентин-кальцитовых, кальцит-серпентиновых и хлорит-серпентиновых ассоциаций и распространение Fe-Mg разновидностей флогопита [29]. Алмазоносные кимберлиты содержат, в основном, серпентин [19]. Представленные данные свидетельствуют, что хлорит-содержащие, с малым содержанием серпентина породы не могут являться материнскими для коренных источников алмазов.

Исходя из того, что изученные рыхлые отложения – это осадочные породы, сконцентрировавшие алмазы и минералы-спутники, встает вопрос о близости коренных источников. С этой точки зрения полезно рассмотреть особенности изменения морфологии и химического состава минералов-спутников алмаза при их переносе и переотложении. Соотношение гранатов и рудных минералов и их морфологические признаки меняются в зависимости от гидравлической дифференциации [3, 5] и указывают на удаленность коренного источника и условия формирования ореола (морские или континентальные). Алмаз и гранат лучше сохраняются при транспортировке, чем хромшпинелиды и ильменит. По результатам наших исследований в изученных пробах отмечается практически полное отсутствие рудных спутников алмаза: хромитов и пикроильменита. Установлено одно зерно ильменита, отвечающее по составу минералу из неалмазоносных перидотитов и энстатитов и одно зерно хромшпинелида из неалмазоносных перидотитов. Среди многочисленных зерен граната (619 зерен из квартованных проб) выявлено резкое преобладание красно-фиолетовых разновидностей над гранатами оранжевых оттенков. Преобладают осколки и обломки со следами механогенной обработки и гипергенной коррозии. Одновременное присутствие следов механогенного износа и гипергенной коррозии характерно для отложений *континентальных условий и дальнего переноса*, тогда как в прибрежно-морских условиях резко преобладают гранаты с формами истирания [1, 5, 37]. Полученные выводы частично согласуются с ранее полученными данными. В работах

[12] и [32] отмечается, что преобладающая часть пиропов в рыхлых речных отложениях Северной Якутии представлена обломками неправильной формы. Целые зерна встречаются редко. С другой стороны, пиропы из триасовых россыпей участка Булкур отличаются по своим морфогенетическим характеристикам [Граханов и др, 2010]. Они характеризуются широкими гранулометрическими и цветовыми спектрами. Это обломки и осколки трещиноватых зерен с поверхностями протосколов и микрорельефом магматического растворения. Кубоидного и дислокационного типа растворения не наблюдается. Отмечаются фрагменты келифитовых кайм, что говорит о близости коренных первоисточников.

Различия между изученными объектами выявляется и при рассмотрении химического состава гранатов. В пробах из Анабарского и Нижнеоленинского районов преобладают разновидности, по составу соответствующие низкохромистым гранатам из лерцолитов и вебстеритов. В пробах из Приморского района отмечено большое количество разновидностей из алмазоносных лерцолитов. В пробах из кряжа Чекановского встречен гранат из высокоалмазоносных дунитов и гарцбургитов с высокими содержаниями кноррингитового минала. Среди гранатов из Куонамского района резко преобладают зерна некимберлитового генезиса. Из полученных данных можно сделать вывод о разных первоисточниках минералов-спутников алмаза в изученных объектах, что согласуется с литературными данными [10, 13, 34]. Другая ситуация отмечается [12] для гранатов из карнийских россыпей, которые характеризуются полным спектром цветовых разновидностей. Содержание гранатов эклогитового парагенезиса желтой и оранжевой окраски достигает трети. Выявлены пиропы, которые относятся к лерцолитовому, верлитовому и дунит-гарцбургитовому парагенезисам. Значительна доля (>20%) гранатов из алмазоносных эклогитов и низка (<2%) из алмазоносных дунитов и гарцбургитов, присутствуют высокохромистые субкальциевые пиропы, аналогичные включениям в алмазах.

Важные результаты получены при изучении *рудных минералов-спутников алмаза*. В изученных рыхлых отложениях их практически нет. Обнаружено только одно зерно хромита лерцолитового генезиса в пробах из кряжа Чекановского. Остальные зерна по составу отвечают магнетитам, титано-магнетитам и промежуточным членам ряда хромит-магнетит. Эти минералы встречаются и в кимберлитах, и в других типах пород. Сопоставление найденных зерен с минералами из кимберлитов [33, 22] показало, что шпинелиды и ильменит из рыхлых отложений не похожи по составу на минералы из кимберлитов. Таким образом, исследование минералов, сопутствующих алмазам в россыпях, показывает, что рыхлые алмазоносные отложения из бассейна Моря Лаптевых сформировались за счет размыва различных коренных источников.

О типе возможного первоисточника можно судить по характеристикам *алмазов*. Изученные кристаллы по морфологии и спектроскопии схожи с алмазами из лампроитов и кимберлитов. Алмазы додекаэдрического габитуса широко распространены [18] в трубках Накынского поля (Ботуобинская трубка), Алакит-Мархинского поля (трубка Айхал), Далдынского поля (трубки Удачная Восточная и Удачная Западная). Однако, в этих трубках суммарная доля октаэдрических кристаллов и сложных многогранников выше доли додекаэдрических кристаллов. В них практически отсутствуют сростки алмазов, относящиеся к V и VII разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова [26]. Возможные коренные источники изученных россыпных алмазов должны отличаться от этих трубок. Возможно, они будут похожи на месторождения, установленные в Архангельской провинции (Золотицкое поле).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований выявлены важные генетические особенности рыхлых алмазоносных отложений бассейна Моря Лаптевых.

1. Изученные алмазоносные россыпи имеют смешанный характер и образовались как за счет прямого сноса материала, так и за счет древних промежуточных коллекторов. Алмазы в россыпях схожи с алмазным сырьем из трубок Золотицкого поля в Архангельской провинции и лампроитов Австралии.

2. Среди минералов-спутников алмаза преобладают гранаты, а рудные минералы (ильменит, хромиты) представлены единичными зернами или отсутствуют. Такие соотношения характерны для лампроитов, кимберлитов минерального типа 2 и для переотложенных вторичных коллекторов морского генезиса.

3. По особенностям минерального состава изученные отложения отнесены к полимиктовым конгломератам, которые не содержат вулканогенных остатков. Такой состав не характерен для аллохимически переработанных ультраосновных пород.

4. Алмазы и зерна сопутствующих минералов несут следы механогенной обработки и гипергенной коррозии, характерные для переноса и переотложения материала в континентальных условиях. В отложениях много ксеногенных гранатов из пород фундамента и чехла, что подтверждает множественность источников сноса.

5. Изученные гранаты относятся к химико-генетическим группам, которые характеризуют убого алмазоносные тела и можно предположить, что алмазы и их спутники вынесены из разных первоисточников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В.П., Варламов Д.А., Гаранин В.К. Зависимость износа кимберлитовых минералов от условий и дальности транспортировки // Геология и геофизика, N10, 1984, с.119-125
2. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Тычков С.А. Проблема докембрийской алмазоносности Сибирской платформы // Вестник Воронежского ун-та, Геология, 2002, вып. 1, с. 19-36
3. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Минералогические поиски месторождений алмазов: развитие, состояние, перспектив // В сб. Геология алмазов: прошлое, настоящее, будущее, - Воронеж, Воронежск. Гос. Ун-т, 2005, с. 1291-1318
4. Афанасьев В.П., Лобанов С.С., Полипенко Н.П. и др. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2011, т. 52(3), с. 335-353
5. Афанасьев В.П., Николенко Е.И., Тычков Н.С. и др. Механический износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования // Геология и геофизика, 2008, т. 49(2), с. 120-127
6. Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А., Васильева Е.Р., Посухова Т.В. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). – М.: Изд-во МГУ, 1999, 524с.
7. Брахфогель Ф.Ф., Ковальский В.В. О денудационном срезе на территории Анабарской антиклизы и сопредельных структур // Геология и полезные ископаемые Якутии, Якутск:Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1970, с. 65-66
8. Вечерин П.П., Журавлев В.В., Квасков В.Б. и др. Природные алмазы России. – М.: Полярон, 1997, 304с.
9. Владыкин Н.В., Торбеева Т.С. Лампоиты ТОмторского массива (Восточное Прианбарье) // Геология и геофизика, 2005, Т. 46, №10, с. 1038-1050
10. Граханов С.А. Геологическое строение и алмазоносность россыпей севера Якутской алмазоносной провинции. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. 78 с.
11. Граханов С.А. Россыпи алмазов северо-востока Сибирской платформы и их коренные источники // Отечественная геология, 2006. - N~. 5.-с.20-28.
12. Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А., Кычкин В.Р., Сулейманов А.М. Россыпи алмазов России // Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. 457 с.
13. Граханов С.А., Смелов А.П., Егоров К.Н., Голубев Ю.К. Осадочно-вулканическая природа основания карнийского яруса – источника алмазов северо-востока Сибирской платформы // Отечественная геология, 2010. Вып. 5. С. 3-12.
14. Граханов С.А., Молотков А.Е., Олейников О.Б., Павлушин В.Д. Типоморфизм и изотопия тиасовых туффзитов Булкурской аниклинали // Отечественная геология, 2015, № 5, с. 16-22

15. Дегтярева А.В., Посухова Т.В., Гаранин В.К. Морфологические особенности россыпных алмазов из аллювиальных отложений бассейна р.Анабар и проблема их генезиса // Записки ВМО. 1994. N1. С.71-80
16. Джейкс А.И., Луис Д.Д" Смит К.Б. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. М.: Мир, 1989, 430с.
17. Дьяков А.Г., Бартошинский З.В. Транспортировка и характер износа алмазов аллювиальных россыпей Якутии. // Труды ЯФСО АН СССР. 1961, № 6. С. 123-135.
18. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы М.: «Недра-Бизнесцентр», 2003. 603 с.
19. Зинчук Н.Н., Лисковая Л.В. Вторичные минералы основной массы кимберлитов Якутии // В сб. Геология алмаза - настоящее и будущее, - Воронеж: изд-во ВГУ, 2005. С. 824-847.
20. Колганов В.Ф., Акишев А. Н. Коренные месторождения алмазов Западной Якутии: справ. пособие. - Новосибирск; Якутск: Гео : АЛРОСА, 2011. - 215 с.
21. Константиновский А.А. Нижнеленский погребенный массив и некоторые вопросы размещения кимберлитов на северо-востоке Сибирской платформы // Геотектоника, 1979. №1. С. 48-57
22. Кудрявцева Г.П., Посухова Т.В., Вержак В.В., Веричев Е.М., Гаранин В.К., Головин Н.Н., Зуев В.М. – Атлас Морфогенез алмаза и минералов-спутников в кимберлитах и родственных породах Архангельской кимберлитовой провинции. – М.: Полярный круг, 2005, 624 с.
23. Летникова Е.Ф., Лобанов С.С., Похиленко Н.П., Изох А.Э., Николенко Е.И. Источники поступления обломочного материала в карнийский алмазоносный горизонт северо-востока Сибирской платформы // ДАН, 2013
24. Метелкина М.П., Прокопчук Б.И. Верхнепротерозойские конгломераты северо-востока Сибирской платформы – возможные промежуточные коллекторы алмазов // Литология и полезные ископаемые, 1976, № 4, с. 75-83
25. Милашев В.А., Томановская Ю.И. Проявление щелочно-ультраосновного магматизма в прибрежной части моря Лаптевых // Кимберлитовый вулканизм и перспективы коренной алмазоносности северо-восточной части Сибирской платформы. Л.: НИИГА, 1971, с. 127-133
26. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М.: Наука. 1984. 263 с.
27. Павлушин А.Д., Граханов С.А., Смелов А.П. Парагенетические ассоциации минералов на поверхности кристаллов алмаза из отложений карнийского яруса северо-востока Сибирской платформы // Отечественная геология, 2010. Вып. 5. С. 45-51.
28. Подчасов В.М., Евсеев М.Н., Минорин В.Е., и др., Россыпи алмазов Мира. – М.: Геоинформарк, 2005

29. Посухова Т.В., Дорофеев С.А., Гаранин К.В., Гао Сяоин Отходы алмазодобывающей промышленности: минеральный состав и способы утилизации. *Вестник Московского университета. Серия 4. Геология*, 2013, № 2, с. 38-48
30. Прокопчук Б.И. Алмазные россыпи и методика их прогнозирования и поисков. М.: Недра, 1979, 248 с.
31. Проскурнин В.Ф., Виноградова Н.П., Гавриш А.В., Наумов М.В. Признаки эксплозивно-обломочного карнийского горизонта Усть-Оленекского района (петрографо-геохимические данные) // *Геология и геофизика*, 2012. Т. 53, № 6. С. 698-711.
32. Селиванова В.В. Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из прибрежно-морских триасовых россыпей северного Верхоянья // Автореф. Дисс....канд. геол.-минер. Наук. –М., 1991.
33. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии.- Новосибирск: Наука, 1974.- 263с.
34. Соболев Н.В., Логвинова А.М., Николенко Е.И., Лобанов С.С. Минералогические критерии алмазоносности верхнетиаовых россыпей северо-восточной окраины Сибирской платформы // *Геология и геофизика*, 2015, т.54, №8, с. 1162-1178
35. Шкодзинский В.С. Генезис россыпей с неизвестными коренными источниками алмазов // *Отечественная геология*, 2005, №5, с. 27-33
36. Bull P.A. Glacial deposits identified by chattermark trails in detrital garnets // *Cont. J. geology* N.5, 1977, p.248
37. Simpson G.S. Evidence of overgrowths and solution of detrital garnets // *J. Sediment.*, 3, 1976. 46, 3. P. 689-693

Рисунки

Рис. 1. Схема размещения изученных отложений. Места отбора изученных образцов показаны точками (1-7). Оконурены районы: Приморский - I, Куонамский - II, Оленекский - IV (по данным Граханова и др., 2006, 2010).

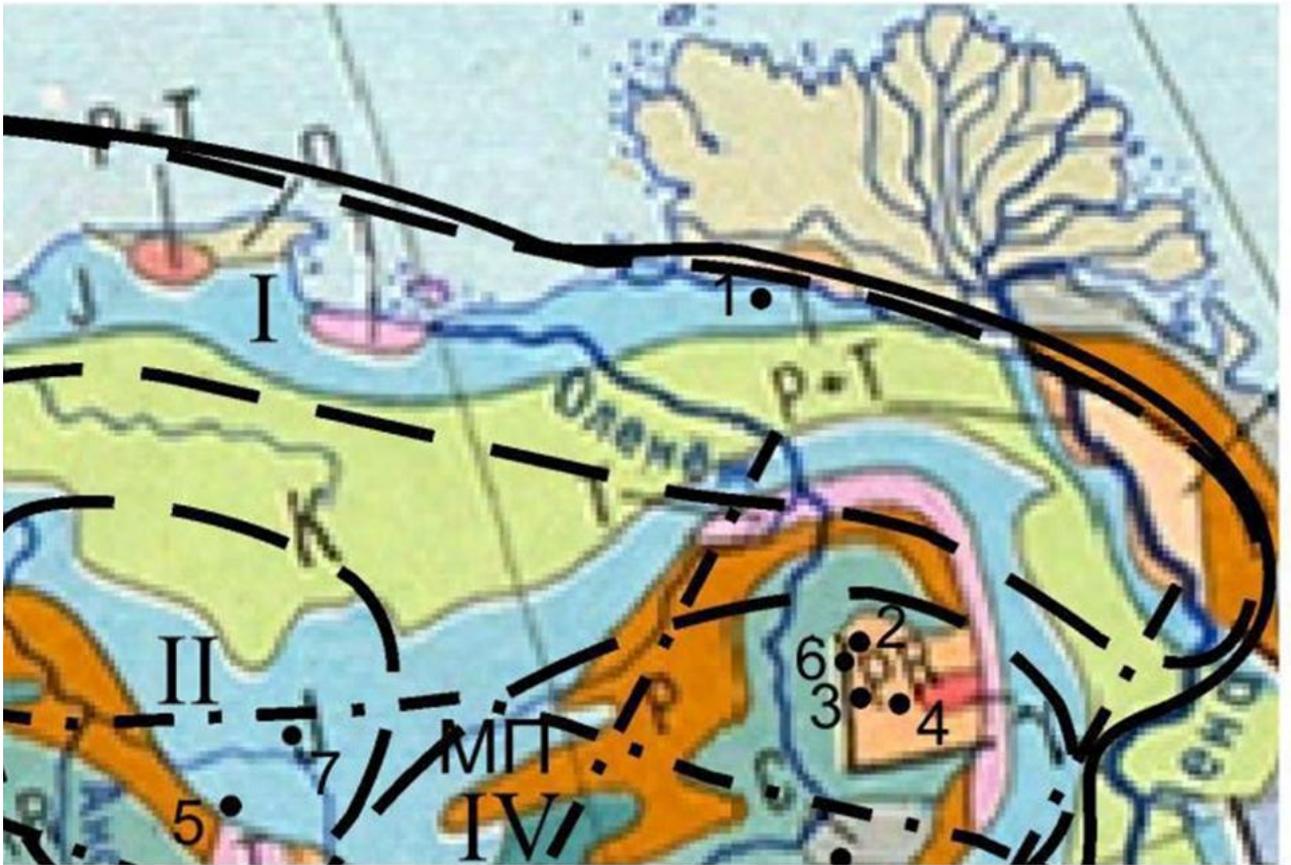
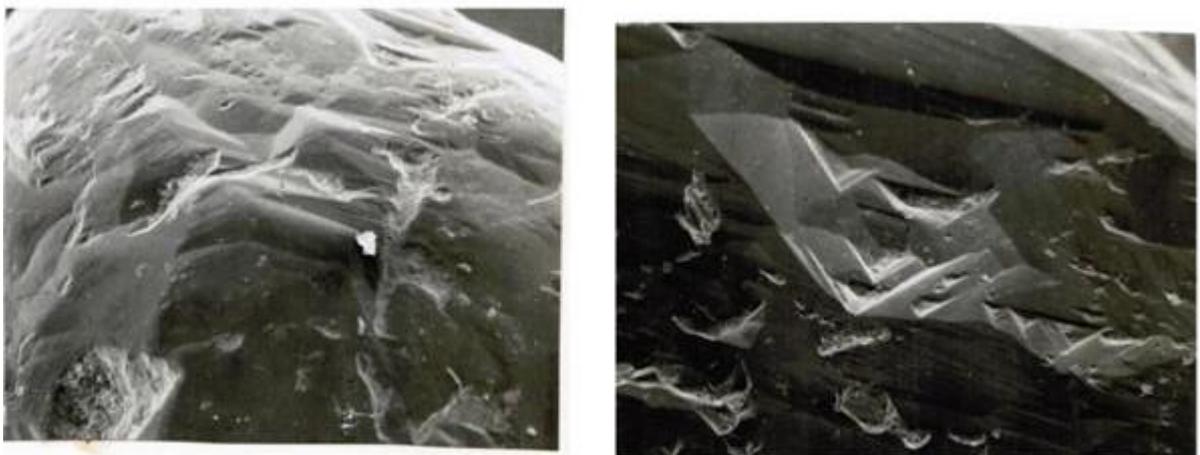


Рис. 2. Фрагменты поверхности кристаллов алмаза с механогенными царапинами и выбоинами (а) и распределение кристаллов алмаза в изученных россыпях по габитусным типам (б).



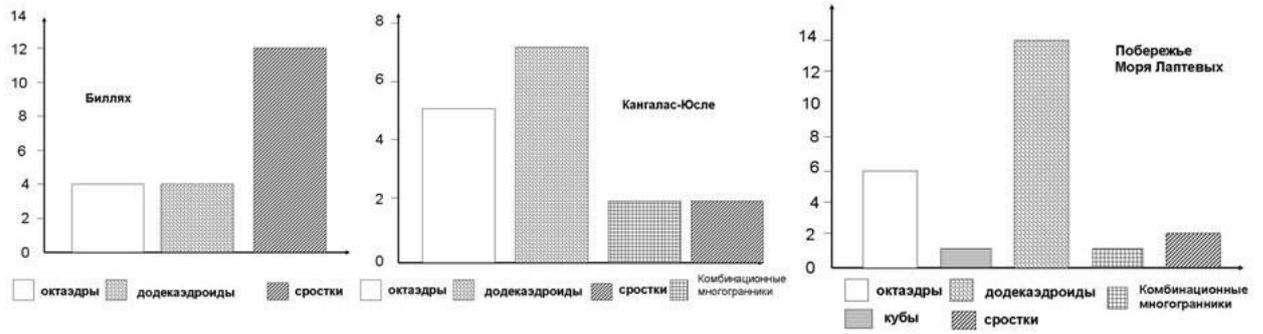
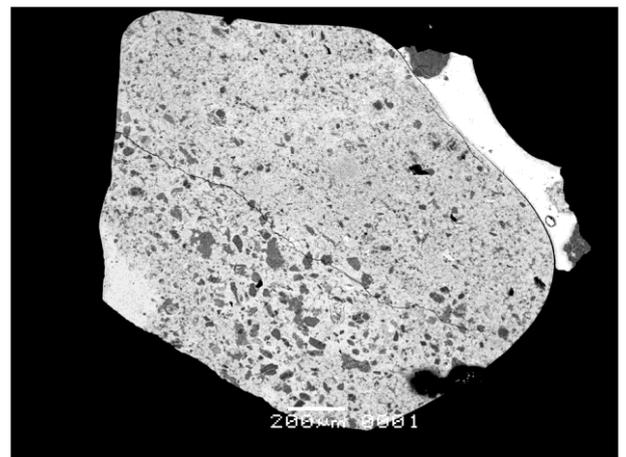
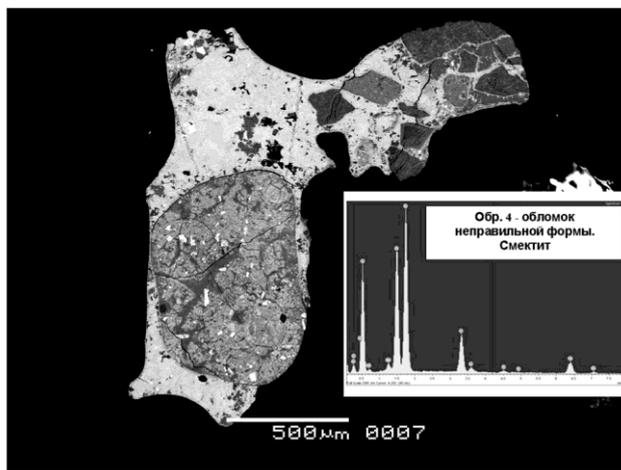


Рис. 3. Микроструктурные особенности изученных полиминеральных образцов рыхлых алмазонасных пород: а – полиминеральный состав образца, видны остатки диатомовых водорослей; б - следы механогенного износа на поверхности зерна;

1. Обломки пород, сложенные орштейновыми зернами ПШ и других устойчивых минералов, сцементированные скрытокристаллическим агрегатом слоистых силикатов и оксидов
2. Полиминеральное округлое зерно с включениями полевых шпатов
3. Полиминеральное округлое зерно с включениями рутила и лейкоксена
4. Крустификационная структура цемента литокластов.
5. Включение кремнезема в образцах полиминеральной породы литокластического облика.
6. Фрагмент поверхности граната с механогенными царапинами и выбоинами (обр. 1-18, р. Кютюнгде).



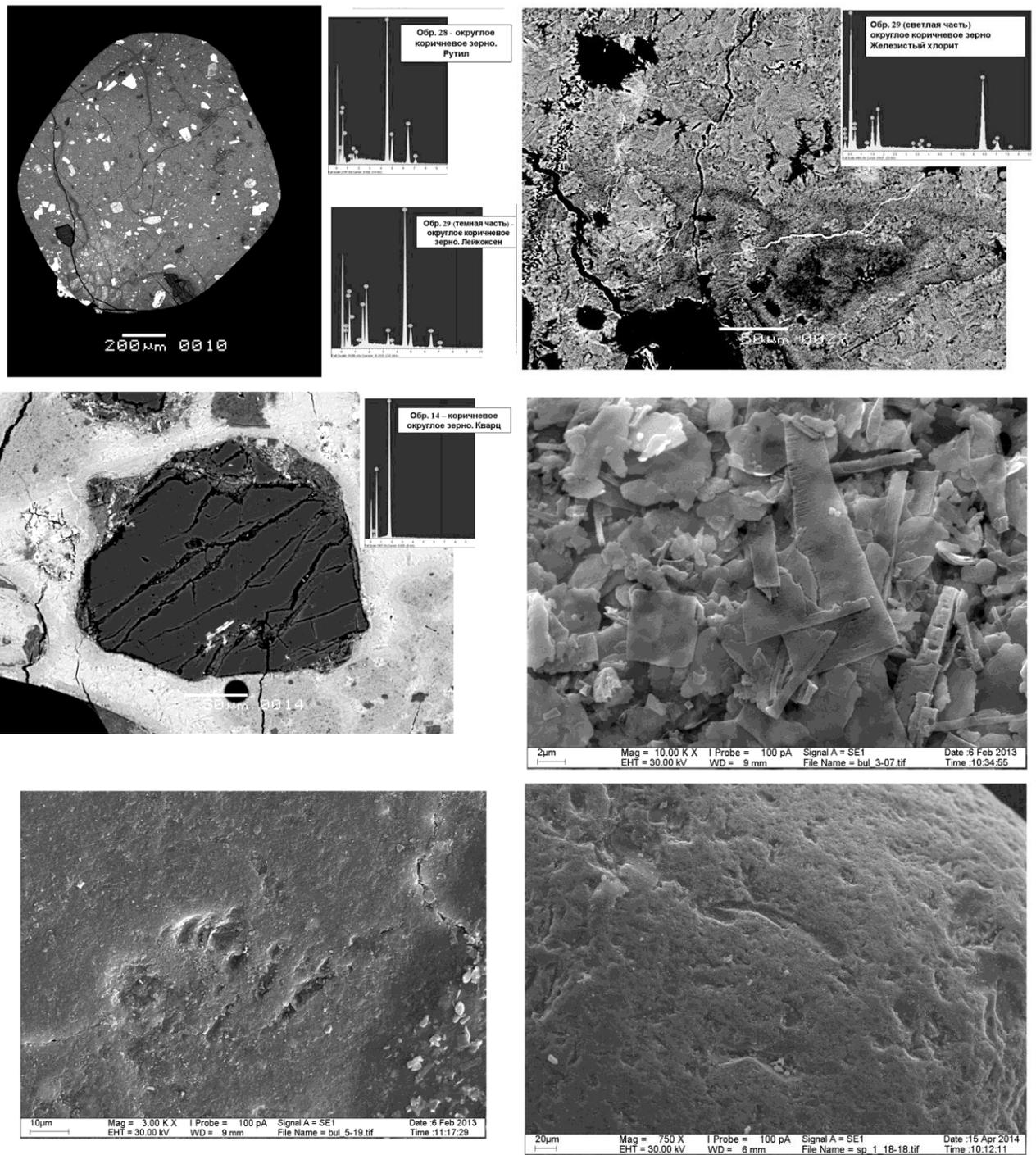


Рис. 4. Распределение зерен гранатов в изученных рыхлых алмазонасных отложениях по степени сохранности (а) и по цветовым группам (б): 5а/1 - Нижнеоленекский район, 5а/2 – Куонамский район, 5а/3 – Анабарский район, 5а/4 – Приморский район; 5б/1 - Нижнеоленекский район, 5б/2 – Приморский район, 5б/3 – Анабарский район, 5б/4 – Куонамский район.

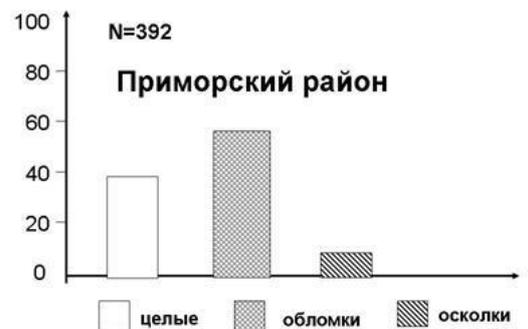
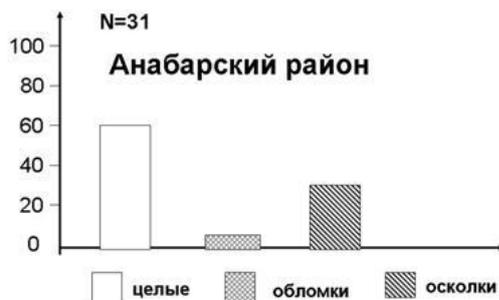
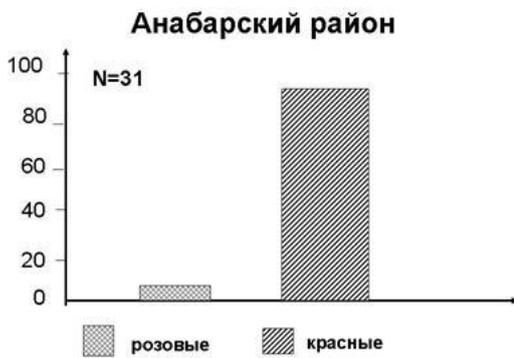
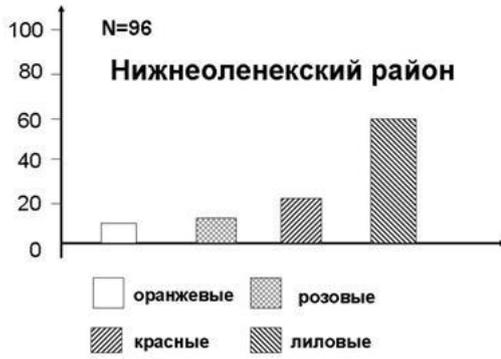


Рис. 5. Парагенетическая диаграмма $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ (%) для изученных пиропов (а) и распределение зерен гранатов в изученных россыпях по химико-генетическим группам (б). Выделены поля составов пиропов: I – верлитового, II – лерцолитового, III – дунит-гарцбургитового, IV – алмазонасного дунит-гарцбургитового парагенезисов по данным Н.В. Соболева [33].

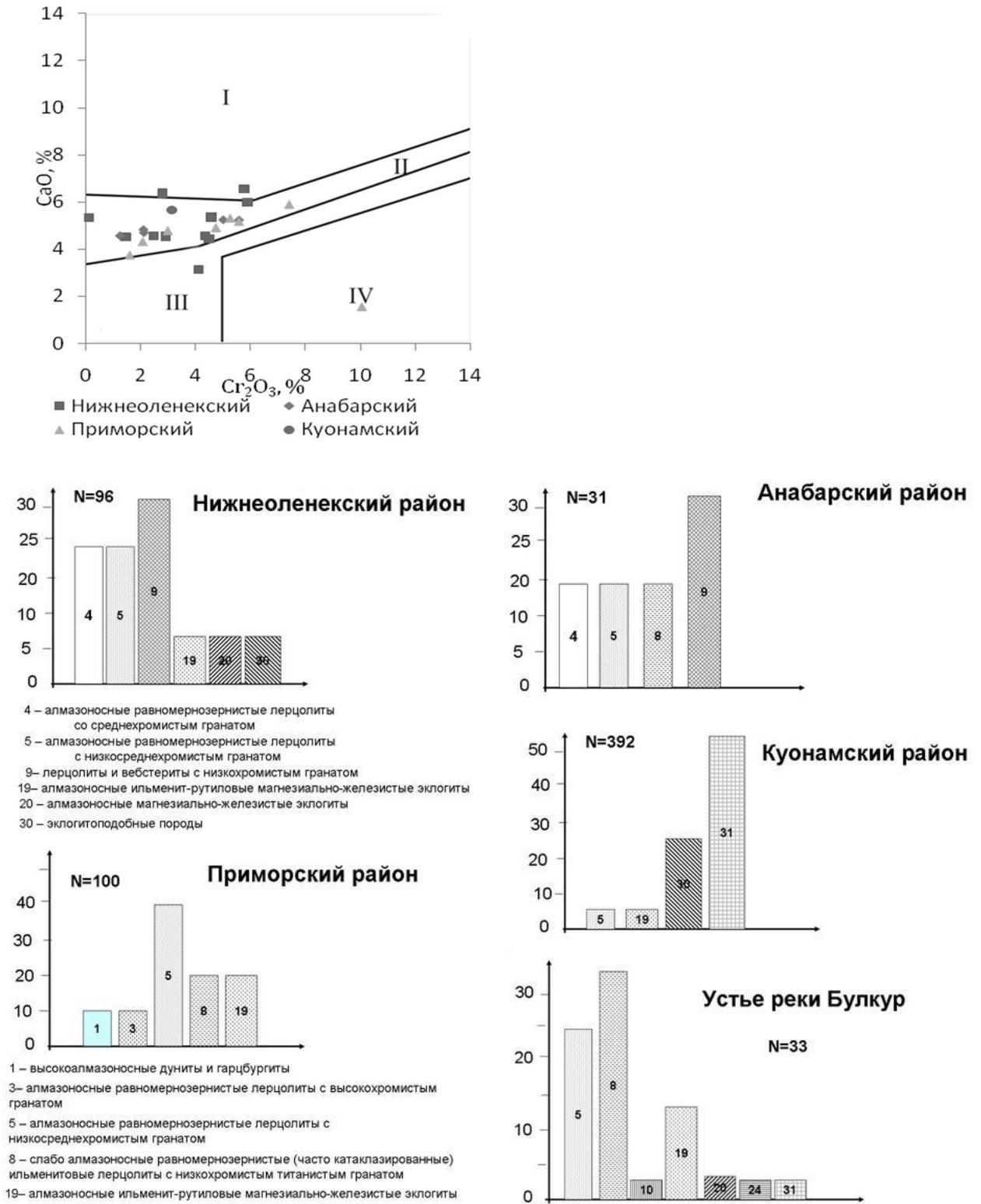


Таблица 1

**Химический состав породообразующих минералов, слагающих изученные образцы
рыхлых алмазонасных пород**

| № анализа | Минеральная фаза | Формула |
|-----------|-------------------|--|
| 1 | Железистый хлорит | $(\text{Fe}_{3,4}\text{Mg}_{0,6})\text{Al}_{1,9}[(\text{Si}_{3,0}\text{Al}_{1,0})\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ |
| 2 | Альбит | $\text{Na}_{0,9}[(\text{Si}_{2,8}\text{Al}_{1,1}\text{Fe}_{0,2})\text{O}_8]$ |
| 3 | Альбит | $\text{Na}_{1,0}[(\text{Si}_{3,0}\text{Al}_{1,0})\text{O}_8]$ |
| 5 | Железистый хлорит | $(\text{Fe}_{3,0}\text{Mg}_{0,6})\text{Al}_{2,4}[(\text{Si}_{3,0}\text{Al}_{1,0})\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ |
| 6 | Альбит | $\text{Na}_{1,0}[(\text{Si}_{3,0}\text{Al}_{1,0})\text{O}_8]$ |
| 7 | Железистый хлорит | $(\text{Fe}_{3,2}\text{Mg}_{0,8})\text{Al}_{1,9}\text{Fe}_{0,1}[(\text{Si}_{2,8}\text{Al}_{1,2})\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ |
| 9 | Пирит | $\text{Fe}_{1,0}\text{S}$ |
| 11 | Кварц | $\text{Si}_{1,0}\text{O}_2$ |
| 15 | Пирит | $\text{Fe}_{1,0}\text{S}$ |
| 18 | Железистый хлорит | $(\text{Fe}_{3,7}\text{Mg}_{0,3})\text{Al}_{2,4}[(\text{Si}_{3,1}\text{Al}_{0,9})\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ |
| 21 | Рутил | $\text{Ti}_{1,0}\text{O}_2$ |
| 23 | Железистый хлорит | $(\text{Fe}_{3,2}\text{Mg}_{0,8})\text{Al}_{1,8}\text{Fe}_{0,1}[(\text{Si}_{2,9}\text{Al}_{1,1})\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ |
| 30 | Железистый хлорит | $(\text{Fe}_{3,5}\text{Mg}_{0,5})\text{Al}_{2,3}(\text{Si}_{3,5}\text{Al}_{0,5})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ |
| 31 | Альбит | $\text{Na}_{0,9}[(\text{Si}_{2,9}\text{Al}_{1,1})\text{O}_8]$ |
| 45 | Железистый хлорит | $(\text{Fe}_{3,4}\text{Mg}_{0,6})\text{Al}_{2,3}[(\text{Si}_{3,3}\text{Al}_{0,7})\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ |
| 46 | Железистый хлорит | $(\text{Fe}_{3,2}\text{Mg}_{0,8})\text{Fe}_{1,4}\text{Al}_{0,3}[(\text{Si}_{2,4}\text{Al}_{1,6})\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ |
| 47 | Железистый хлорит | $(\text{Fe}_{3,4}\text{Mg}_{0,6})\text{Al}_{1,8}\text{Fe}_{0,1}[(\text{Si}_{3,1}\text{Al}_{0,9})\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ |

**Химический состав индикаторных минералов кимберлитов в изученных образцах
рыхлых алмазоносных пород**

| № анализа | Минеральная фаза | Формула |
|-----------|------------------|--|
| 1 | Диопсид | $\text{Ca}_{0,9}\text{Mg}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{Ti}_{0,1}[\text{Si}_{1,9}\text{O}_6]$ |
| 2 | Ферросилит | $\text{Fe}^{+2}_{1,0}\text{Mg}_{0,7}\text{Ca}_{0,1}\text{Fe}^{+3}_{0,3}[(\text{Si}_{1,7}\text{Al}_{0,1}\text{O}_6)]$ |
| 3 | Гиперстен | $\text{Mg}_{0,9}\text{Fe}^{+2}_{0,7}\text{Fe}^{+3}_{0,2}[(\text{Si}_{1,5}\text{Al}_{0,6}\text{O}_6)]$ |
| 5 | Гиперстен | $\text{Mg}_{1,2}\text{Fe}^{+2}_{0,8}[\text{Si}_{2,0}\text{O}_6]$ |
| 6 | Гиперстен | $\text{Mg}_{1,2}\text{Fe}^{+2}_{0,8}[\text{Si}_{2,0}\text{O}_6]$ |
| 7 | Хромшпинелид | $(\text{Mg}_{0,6}\text{Fe}_{0,4})(\text{Cr}_{0,9}\text{Al}_{0,9}\text{Fe}_{0,1})$ |
| 9 | Хромшпинелид | $(\text{Mg}_{0,6}\text{Fe}_{0,5})(\text{Cr}_{1,1}\text{Fe}_{0,5}\text{Al}_{0,2}\text{Ti}_{0,1})$ |
| 11 | Хромшпинелид | $(\text{Mg}_{0,6}\text{Fe}_{0,5})(\text{Cr}_{1,2}\text{Fe}_{0,3}\text{Al}_{0,3}\text{Ti}_{0,1})$ |
| 14 | Хромшпинелид | $(\text{Mg}_{0,6}\text{Fe}_{0,5})(\text{Cr}_{1,2}\text{Fe}_{0,3}\text{Al}_{0,3}\text{Ti}_{0,1})$ |
| 15 | Хромшпинелид | $(\text{Mg}_{0,5}\text{Fe}_{0,5})(\text{Cr}_{1,2}\text{Fe}_{0,3}\text{Al}_{0,4}\text{Ti}_{0,1})$ |
| 18 | Хромшпинелид | $(\text{Mg}_{0,5}\text{Fe}_{0,5})(\text{Cr}_{1,0}\text{Al}_{0,4}\text{Fe}_{0,3}\text{Ti}_{0,1})$ |
| 21 | Ильменит | $(\text{Fe}^{+2}_{0,5}\text{Mg}_{0,4})\text{Ti}_{0,9}\text{Fe}^{+3}_{0,2}$ |
| 23 | Ильменит | $(\text{Fe}^{+2}_{0,6}\text{Mg}_{0,2})\text{Ti}_{0,9}\text{Fe}^{+3}_{0,3}$ |
| 30 | Ильменит | $(\text{Fe}^{+2}_{0,9}\text{Mg}_{0,1})\text{Ti}_{1,0}$ |
| 31 | Титаномагнетит | $\text{Fe}^{+2}_{1,0}(\text{Fe}^{+3}_{1,3}\text{Ti}_{0,7})$ |
| 34 | Титаномагнетит | $\text{Fe}^{+2}_{1,0}(\text{Ti}_{1,1}\text{Fe}^{+3}_{0,9})$ |
| 40 | Магнетит | $\text{Fe}^{+2}_{1,0}\text{Fe}^{+3}_{2,0}$ |
| 45 | Магнетит | $\text{Fe}^{+2}_{1,0}\text{Fe}^{+3}_{2,0}$ |
| 46 | Рутил | $\text{Ti}_{1,0}\text{O}_2$ |