



ЯКУТИТЫ – ИМПАКТНЫЕ АЛМАЗЫ ПОПИГАЙСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ

Приводятся результаты сравнительного анализа коренных импактных алмазов месторождения Скальное и якутитов из россыпей рек Эбелях и Догой. Исследования проводились в целях выявления основных особенностей импактного образования алмазов в Попигайской астроблеме. Методами оптической микроскопии, рентгенографии, КР-спектроскопии установлено, что якутиты и алмазы из тагамитов характеризуются схожим фазовым составом, включающим алмаз и лонсдейлит при подчинённом количестве последнего, имеют импактную природу и являются параморфозами по графиту пород мишени – архейских гнейсов. Различия между ними обусловлены местом их происхождения. Якутиты возникли в эпицентре взрыва и были выброшены за пределы кратера в радиальных направлениях, а из вертикального выброса вернулись на территорию кратера. В тагамитах импактные алмазы образовались одновременно с плавлением породы за счёт ударной волны. Наличие на поверхности якутитов плёнки силикатного стекла свидетельствует об их закалке после выброса из кратера. Алмазы в тагамитах достаточно долго отжигались по мере охлаждения расплава, что привело к агрегированию структурной примеси азота. В якутитах агрегированные формы азота отсутствуют. Якутиты за пределами кратера представляют собой самостоятельную минеральную фракцию и встречаются в россыпном состоянии вкупе с обычными алмазами и прочим обломочным материалом. В пределах кратера они генетически связаны с зювитами – туфогенной составляющей импактитов и поступают в россыпи на территории кратера за счёт физического выветривания зювитов. Алмазы из тагамитов практически не обнаруживаются в россыпях на территории кратера, поскольку тагамит – очень прочная порода, и при отсутствии химического выветривания они не могут высвободиться.

Ключевые слова: алмаз, якутиты, россыпи, Сибирская платформа, генезис, минералогия.

Якутиты впервые найдены З.В.Бартошинским в 1966 г. при разведке алмазной россыпи р. Эбелях (приток р. Анабар на северо-востоке Сибирской платформы) в ходе применения жирового метода обогащения. Данный метод использован в связи с наличием в россыпи большого количества алмазов, не светящихся или слабо светящихся в рентгеновских лучах. Наряду с несветящимися алмазами V и VII разновидностей по классификации Ю.Л.Орлова [12] в концентрате обогащения оказались тёмные выделения неправильной формы, которые при рентгеновском исследовании диагностировались как поликристаллические алмазы типа карбонадо. Первая публикация о них появилась в газете «Геолог Якутии» в 1968 г. [14]. Тип их коренного источника не был известен. Таким образом, якутиты выявлены ещё до открытия импактных алмазов Попигайской астроблемы В.Л.Масайтисом в 1972 г. [11], но импактная природа их была определена значи-

Афанасьев Валентин Петрович¹

доктор геолого-минералогических наук
главный научный сотрудник
morpho@igm.nsc.ru

Угапьева Саргылана Семёновна²

кандидат геолого-минералогических наук
научный сотрудник
sargylana-ugapeva@yandex.ru

Елисеев Александр Павлович¹

доктор физико-математических наук
ведущий научный сотрудник
elishev.ap@mail.ru

Громилов Сергей Александрович³

доктор физико-математических наук
главный научный сотрудник
grom@niic.nsc.ru

Павлушин Антон Дмитриевич²

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
a.d.pavlushin@diamond.ysn.ru

¹ ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск

² ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

³ ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В.Николаева СО РАН, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

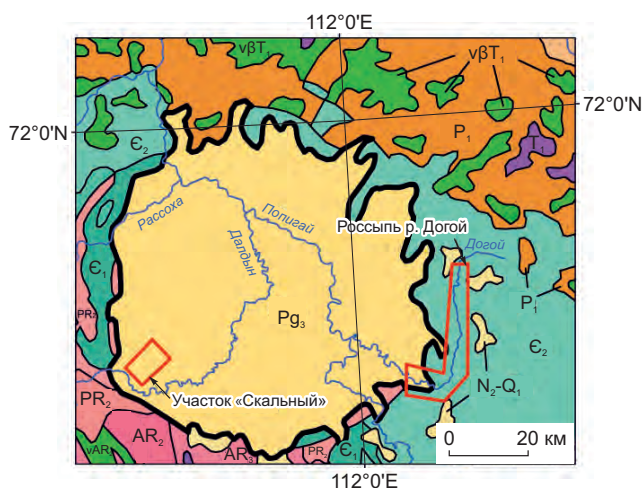


Рис. 1. ПОПИГАЙСКАЯ АСТРОБЛЕМА. МЕСТА ОТБОРА ПРОБ (р. Догой и месторождение Скальное)

тельно позднее. Якутиты выделены в классификации Ю.Л.Орлова в качестве самостоятельной разновидности алмазов (XI), которая рассматривалась как «карбонадо с лонсдейлитом» [12].

Попигайская астроблема (метеоритный кратер) образовалась на восточной окраине Анабарского щита 35,7 млн лет назад из-за удара о поверхность Земли космического тела диаметром несколько километров. Её диаметр ~100 км [1]. В породах мишени – архейских гнейсах – содержалось большое количество графита, который в результате шокового метаморфизма мартенситным путём (твёрдофазная перекристаллизация) перешёл в смесь высокобарических фаз – алмаза и лонсдейлита. Сохранились остатки исходного графита. В момент импактного события якутиты были выброшены за пределы кратера на расстояние более 550 км. Другая часть графита за счёт ударной волны перекристаллизовалась в высокобарические фазы непосредственно в породах мишени одновременно с их плавлением, и эти импактные алмазы (ИА) остались в них после остывания расплава.

После открытия ИА в импактных породах внутри метеоритного кратера основное внимание уделялось алмазам из коренных пород – тагамитов (переплавленные породы мишени), а якутиты оставались слабо изученными. Между тем, сравнение якутитов с коренными ИА из тагамитов (в основном алмазами из месторождения Скальное, выделенными на обогатительной фабрике в пос. Хатанга) даёт важные сведения для постижения

импактного алмазообразования в Попигайском кратере и открывает новые технологические возможности использования импактных алмазов.

В данной работе сопоставлены результаты исследований коренных импактных алмазов месторождения Скальное, расположенного на юго-западном фланге кратера, и якутитов из россыпей рек Эбелях и Догой, находящихся соответственно за пределами кратера и на юго-восточной его границе. Размер выделений якутита 2–13 мм по длинной оси при массе от 0,1 до 4,0 кар. Места отбора проб показаны на рис. 1.

Якутиты и импактные алмазы из тагамитов изучались одним комплексом методов, включающим морфологические методы – сканирующую электронную микроскопию с анализом химического состава поверхностных образований, спектроскопию комбинационного рассеяния (КР-спектроскопию), определение изотопного состава углерода, рентгеновскую дифрактометрию.

Распространённость якутитов. Якутиты найдены на обширной территории северо-востока Сибирской платформы к востоку и югу от Попигайской астроблемы. Наиболее удалённые их находки – в бассейне р. Келимьяр по северному обрамлению Оленёкского поднятия на расстоянии ~550 км от кратера [5–7]. Содержание якутитов в россыпях может составлять до 1 кар/м³.

Морфологические особенности якутитов. Якутиты представляют собой образования неправильной формы, иногда гексагональных очертаний, nasledующие форму кристаллов графита (рис. 2) [3]. В работе [13] при описании якутитов из россыпи р. Эбелях выделено четыре основных морфологических типа: массивно-зернистые, таблитчатые, параллельно-шестоватые и спутанно-волокнистые (рис. 3). Фактически они различаются лишь внешне, а реально отражают исходную морфологию выделений графита в архейских гнейсах. При детальном изучении микроморфологии их поверхности с помощью электронной микроскопии отмечался ряд общих черт. Одна из них – наличие интерстиционных пустот субмикронных размеров между границами субиндивидов в зёрнах. Как правило, многочисленные пустоты ориентированы в одном направлении. Субиндивиды обычно имеют пластинчатый облик в таблитчатых и волокнистоподобный в параллельно-шестоватых якутитах. На свежих сколах и в естественных пустотах под электронным микроскопом ясно прослеживается во-

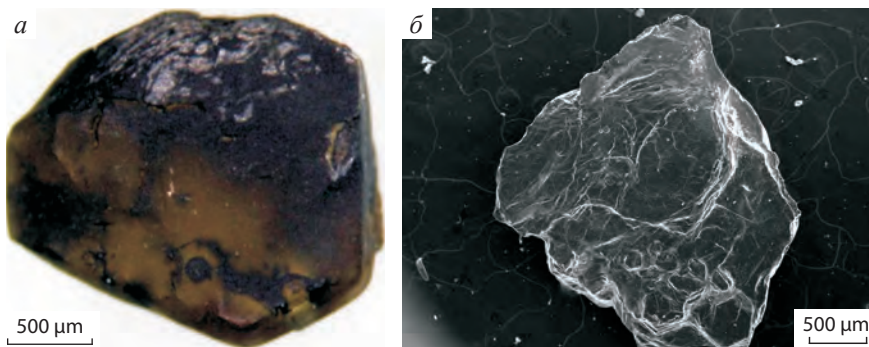


Рис. 2. ГЕКСАГОНАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МОРФОЛОГИИ ЯКУТИТОВ:

a – гексагональное выделение якутита – параморфоза по гексагональному выделению графита; *б* – гексагональный элемент морфологии на поверхности якутита (россыпь р. Догой)

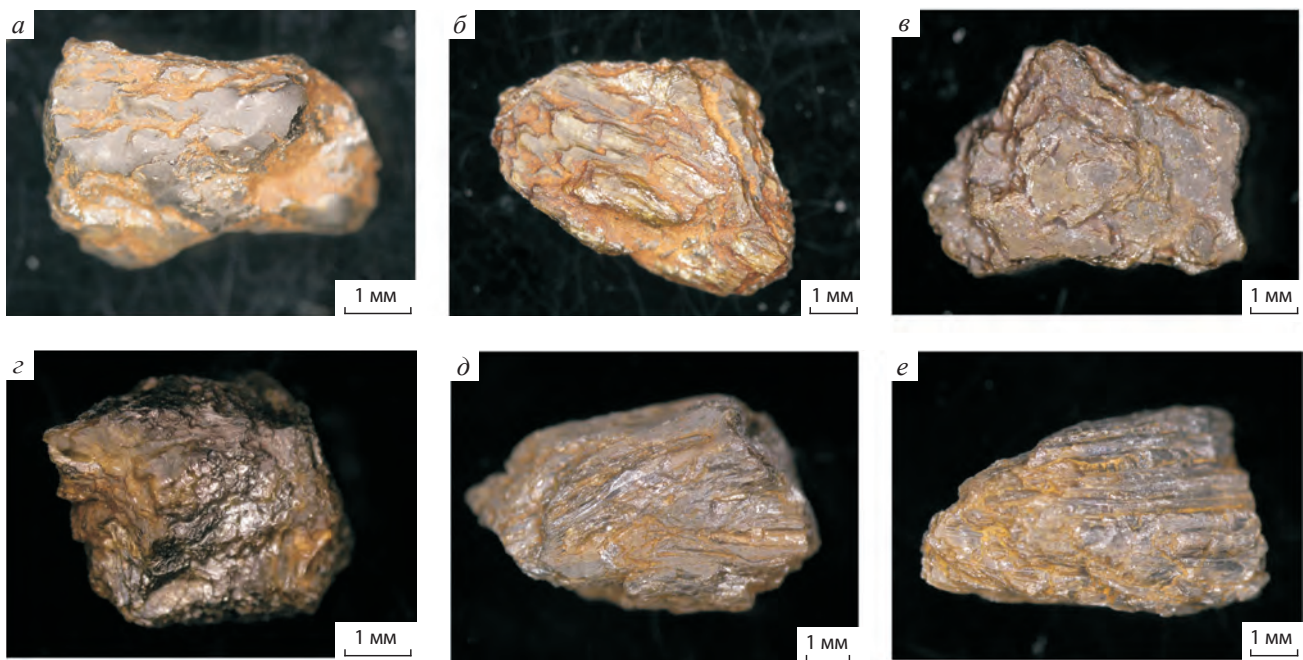


Рис. 3. МОРФОЛОГИЯ ЯКУТИТОВ ИЗ РОССЫПИ р. ЭБЕЛЯХ:

a, б – таблитчатые; *в, г* – массивные; *д* – спутанно-волокнистый; *е* – параллельно-шестоватый

локнистое микрофибрилярное строение спутанно-волокнистых образцов. Микрофибры и микропластины алмаза характерны для всех выделенных морфологических типов.

Якутиты окрашены в коричневый с оттенками красного, реже тёмно-серый до чёрного цвет. Нужно учитывать, что в россыпях на поверхности зёрен могут развиваться корочки глинистых седиментологических продуктов, изменяющих реальный цвет. Фотолюминесценция слабая в кирпично-красных и оранжевых тонах или отсутствует. Из-за морфологических особенностей (непохожести на обычные алмазы) и очень слабой люминесценции их диагностика и извлечение из россып-

ного материала весьма затруднительны, поэтому во многих случаях они упускаются.

Импактные алмазы, извлечённые из тагамитов, существенно отличаются по морфологии. Прежде всего, они представлены только в мелких гранулометрических классах (<1 мм, главным образом 200–400 мкм). Подавляющее большинство из них – осколки более крупных зёрен (рис. 4), лишь на некоторых зёрнах, главным образом крупнее 200–300 мкм, могут сохраняться фрагменты корродированных тагамитовым расплавом поверхностей (см. рис. 4, б). В осколках значительно лучше, чем в якутитах, выражена слоистость, унаследованная от исходных зёрен графита (см. рис. 4, а). Для вы-

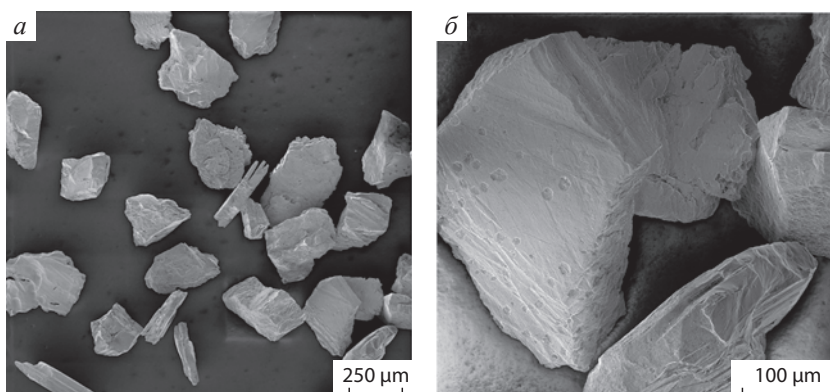


Рис. 4. МОРФОЛОГИЯ ИМПАКТНЫХ АЛМАЗОВ, ИЗВЛЕЧЁННЫХ ИЗ ТАГАМИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СКАЛЬНОЕ:

a – общий вид зёрен; *б* – детали морфологии, видны ямки магматической коррозии

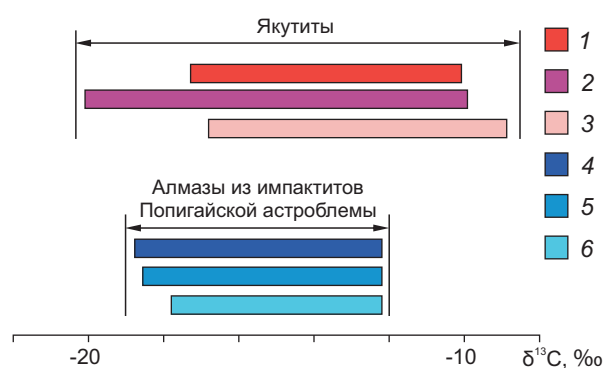


Рис. 5. СРАВНЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА ЯКУТИТОВ И АЛМАЗОВ ИЗ ИМПАКТИТОВ ПОПИГАЙСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ ПО ДАННЫМ:

1 – [13] (россыпи Анабарского алмазоносного района); 2 – [8] (р. Эбелях); 3 – [7, 9] (Оленёкское поднятие); 4 – [8, 10]; 5 – [5]; 6 – [9]

яснения образования оскольчатой формы зёрен необходимо учитывать, что для их извлечения тагамит, будучи очень прочной породой, подвергается дроблению до размера обломков <2 мм, при этом дробятся и зёрна импактных алмазов. Поэтому можно полагать, что исходный размер импактных алмазов в тагамите был значительно больше и соответствовал, возможно, размерам якутитов.

Изотопный состав углерода якутитов. Анализ изотопного состава углерода якутитов выполнен в Лаборатории стабильных изотопов Дальневосточного геологического института ДВО РАН [13]. Были изучены одиночные осколки агрегатов, отделённые механическим способом в стерильных условиях, массой 0,5–0,8 мг (рис. 5). Погрешность анализа при определении количества изотопа $\delta^{13}\text{C}$ со-

ставляла $\pm 0,2$ – $0,05\%$. Изотопный состав углерода в якутитах в целом соответствует таковому ранее изученных якутитов из россыпей р. Эбелях ($-9,9\%$ – $-15,9\%$, среднее $-12,6\%$) [8] и Оленёкского поднятия ($-9,9\%$ – $-20,1\%$, среднее значение $-15,0\%$) [9], а также импактных алмазов из тагамитов Попигайского кратера ($-12,3\%$ – $-17,8\%$, среднее $-15,0\%$) [8, 10]. Эти значения отвечают изотопному составу графитов из архейских гнейсов ($-12,0\%$ – $-17,3\%$, среднее $-14,6\%$) [5, 8].

Рентгенография. Дифракционные картины от неподвижных образцов (лауэграммы) якутитов и импактных алмазов из тагамитов характеризуются набором уширенных дифракционных пятен или хорошо заполненными дифракционными кольцами (рис. 6). Заполненность колец свидетельствует о поликристаллическом строении образцов с наноразмерными кристаллитами.

Рентгенофазовым анализом установлено, что содержание лонсдейлита в якутитах изменяется от 0 до 12% [20]. Более широкие исследования, проведённые на образцах импактных алмазов из тагамитов, показывают содержание лонсдейлита от 0 до 50% и более. В целом, данные дифрактометрии говорят о практически полной аналогии импактных алмазов и якутитов. Отличие заключается в отсутствии графита в последних. Это подтверждает данные, приведённые в работе [13], в которой при изучении ряда якутитов из россыпей Анабарского алмазоносного района графит также не обнаружен.

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР-спектроскопия). Спектры КР получены для 30 образцов якутитов при возбуждении 325 нм (He-Cd лазер) на конфокальном микрораман-спектрометре LABRAM с криостатом OXFORD при температуре

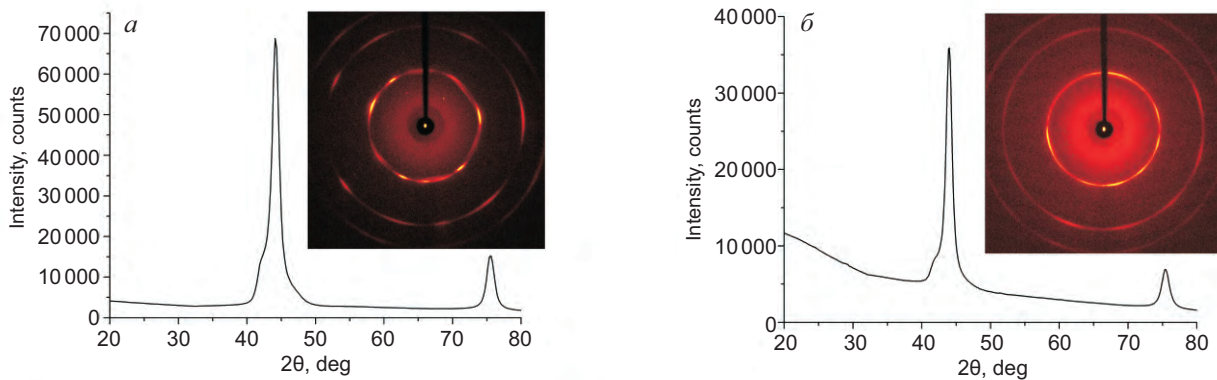


Рис. 6. ДИФРАКТОГРАММЫ ОБРАЗЦОВ ИМПАКТНОГО АЛМАЗА ИЗ ТАГАМИТА (а) И ЯКУТИТА (б):

на вставках показаны характерные дифракционные картины (лауэграммы) от неподвижных образцов (МоК_α-излучение, $2\theta_d=0^\circ$, $d=40$ мм)

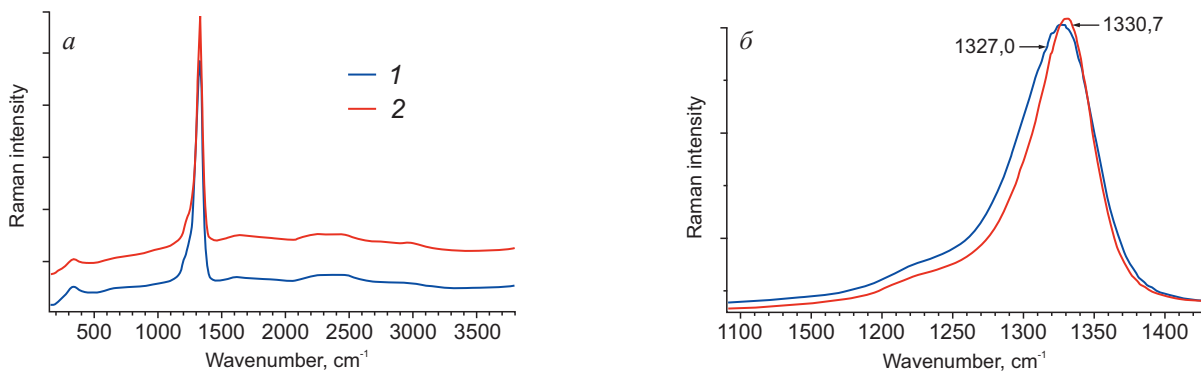


Рис. 7. КР-СПЕКТРЫ АЛМАЗНЫХ ОБРАЗЦОВ (а), УВЕЛИЧЕННАЯ ЧАСТЬ УЗКОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ (б):

1 – образец якутита из россыпи р. Эбелях; 2 – образец тагамита из импактного кратера Попигай

80 К (разрешение 0,1 нм), причём измерения проведены в пяти-шести точках для каждого. Спектры, как правило, сходные для разных точек. Типичные спектры КР представлены на рис. 7. В большинстве образцов наблюдается основная линия 1332 см^{-1} , характерная для кубического алмаза. Линия значительно уширена: её ширина на уровне полувысоты FWHM равна 25 см^{-1} . Для монокристаллов кимберлитового алмаза FWHM составляет $\sim 1\text{--}2\text{ см}^{-1}$. Это указывает на сильную деформацию в структуре якутитов. В некоторых образцах значения FWHM достигают 70 и даже 90 см^{-1} . У двух образцов максимум основной линии смещается к 1330 и далее к 1325 см^{-1} , наблюдаемый спектр интерпретируется как сумма спектров от кубического алмаза и трёх пиков, относящихся к лонсдейлиту: $1338\text{ (E}_{1g}\text{)}$, $1280\text{ (A}_{1g}\text{)}$ и $1224\text{ (E}_{2g}\text{)}$ [15, 20]. Смеще-

ние линии в низкоэнергетическую сторону, уширение и ослабление пика характерны для случаев углеродной sp^3 -структуры, где разупорядочение обусловлено наноразмерами структурных единиц. Низкоэнергетическая полоса $335\text{--}340\text{ см}^{-1}$ связывается с дополнительными углеродными (?) фазами. Широкая полоса в области $2200\text{--}2450\text{ см}^{-1}$ интерпретируется как спектр второго порядка для алмаза и лонсдейлита. Спектры якутита и ИА из кратера очень похожи (см. рис. 7).

Силикатные плёнки на якутитях. На поверхности якутитов из россыпи р. Эбелях (закратерные якутиты) присутствуют плёнки силикатного стекла (рис. 8, а). На якутитях из россыпи р. Догой (на границе кратера) такие плёнки либо отсутствуют, либо тонкие, фрагментарно развитые. Плёнки, растрескавшиеся, как на вулканической бомбе

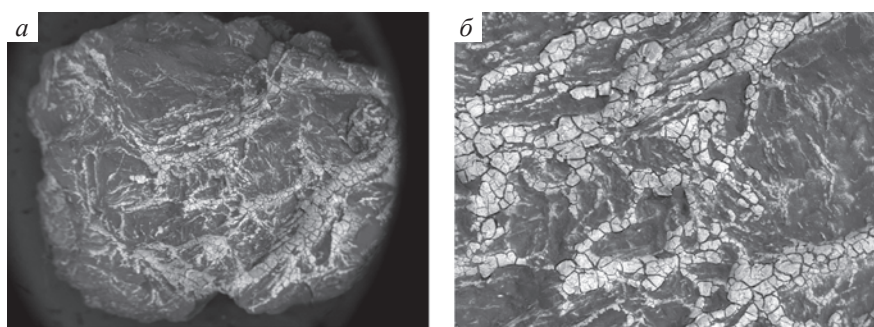


Рис. 8. СИЛИКАТНАЯ ПЛЁНКА НА ПОВЕРХНОСТИ ЯКУТИТА ИЗ РОССЫПИ р. ЭБЕЛЯХ. РАЗМЕР ЗЕРНА 1,5 мм:

а – общий вид; *б* – детали строения силикатной плёнки

(трещины усадки) (см. рис. 8, б). Состав плёнок нескольких образцов изучен на растровом сканирующем электронном микроскопе с ЭДС системой химического анализа MIRA₃LMU (рис. 9). Составы определялись с естественной поверхности образцов, фрагменты которой по-разному наклонены по отношению к детектору, из-за чего сумма элементов сильно различается, и полученные результаты дают лишь общее представление о составе плёнок. Основные элементы – железо, кремний из окружающего силикатного вещества. По данным [20], в ряде ИА и якутитов из россыпи р. Догой отмечаются зёрна кварца.

В обсуждении результатов исследования якутитов и сравнительного анализа их с ИА важны два аспекта: сходство и отличие якутитов и ИА из тагамитов внутри кратера. Основным критерий сходства – фазовый состав: и те и другие имеют в составе кубическую (алмаз) и гексагональную (лонсдейлит) фазы при подчинённом количестве второй [1,

2, 4, 5, 15, 16, 18, 19 и др.]. Кроме того, аналогична внутренняя структура: и те и другие представляют собой поликристаллы с наноразмерными зёрнами агрегата [1, 4 и др.]. И те и другие являются параморфозами по графиту пород мишени и обладают слоистой текстурой, унаследованной от исходного графита. Одинаковы изотопные составы углерода [1, 5, 7, 8, 10]. Близки физические свойства якутитов и импактных алмазов из тагамитов как отражение фазового состава и структурных особенностей [1, 2, 4, 5, 15–17, 19 и др.]. Признаки сходства якутитов и ИА из тагамитов определяют их генетическое родство и связь якутитов с Попигайской астроблеймой [2].

Весь комплекс различий якутитов и импактных алмазов из тагамитов обуславливается местом их образования в пределах кратера. Якутиты появились в эпицентре взрыва при ударе космического тела и были выброшены из кратера наряду с переплавленным материалом пород мишени и их обломками. Импактные алмазы в тагамитах, в частности месторождения Скальное на юго-западном фланге кратера, возникли из графита за счёт ударной волны, пришедшей со стороны эпицентра взрыва, т.е. при заведомо более низких динамических параметрах. Якутиты при выбросе были закалены, на них остались корочки расплава, тогда как внутрикратерные алмазы достаточно долго отжигались в тагамитовом расплаве по мере его остывания. Отжиг привёл к тому, что в тагамитовых алмазах развита агрегированная форма азота N3V (в кубической фазе), тогда как в якутитовых она отсутствует. При сходстве фазовых составов якутитов и тагамитовых алмазов существуют и различия. Среди последних выделяются два сорта – светлые с резким преобладанием кубической фазы и тёмные, в которых, наряду с кубической, присутствуют гексагональная фаза и графит. В якутитовых следы

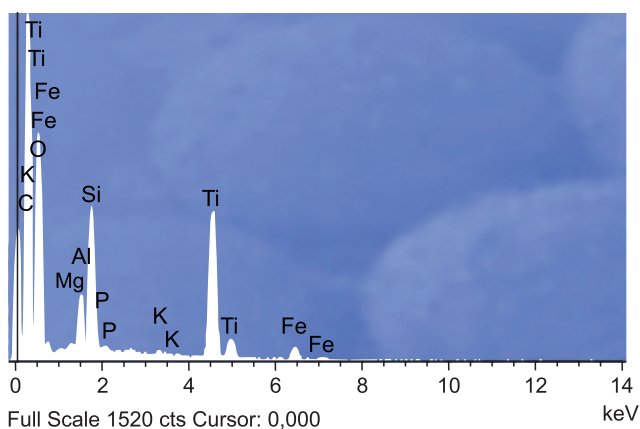


Рис. 9. ХАРАКТЕРНЫЙ СПЕКТР СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ЯКУТИТА

графита отмечаются КР-спектроскопией, при рентгеновских исследованиях он, по-видимому из-за крайне малого содержания, не обнаруживается. На наш взгляд, это связано с тем, что якутиты образовались в эпицентре взрыва при максимальных динамических параметрах, в результате чего практически весь графит перешёл в высокобарические фазы, тогда как тагамитовые алмазы возникли при меньших параметрах, и сохранилось достаточно много графита. Помимо прочего, характер фазового состава якутитов позволяет отвергнуть гипотезу о том, что в момент удара формируется лонсдейлит, который по мере отжига переходит в кубическую фазу [5]. Якутиты не отжигались, наоборот, они были закалены, но в них сочетаются кубическая и гексагональная фазы, что указывает на одновременность их образования.

Якутиты распространены к востоку и югу относительно кратера на расстоянии >550 км [5]. Однако нужно помнить, что они были обнаружены при обогащении россыпи обычных алмазов на р. Эбелях к востоку от кратера и впоследствии их находили как попутный продукт только там, где производилось крупнообъёмное опробование на обычные алмазы. Поэтому можно с высокой долей уверенности говорить о возможности их обнаружения и к западу на территории Красноярского края. Таким образом, логично предполагать радиальный разброс якутитов относительно Попигайской астроблемы.

В заключение отметим следующее.

Якутиты и импактные алмазы из тагамитов имеют импактную природу и представляют собой параморфозы по графиту архейских гнейсов, образовались мартенситным путём в результате шокового метаморфизма в момент Попигайского импактного события. Этим определяется их генетическое родство. Вместе с тем, между ними имеются различия, обусловленные местом их образования.

В связи с выбросом якутиты за пределами кратера представляют собой самостоятельную фракцию и встречаются в россыпном состоянии наряду с обычными алмазами и прочим обломочным материалом. В пределах кратера они генетически связаны с зювитами – туфогенной составляющей импактитов и поступают в россыпи на территории кратера за счёт физического выветривания зювитов. Алмазы из тагамитов практически отсутствуют в россыпях на территории кратера, поскольку тагамит – очень прочная порода, и при отсутствии

химического выветривания алмазы не могут вывободиться.

Размер импактных алмазов обоих типов можно оценивать по диапазону размеров якутитов: нижний предел ~0,5 мм, верхний может достигать сантиметров. То что алмазы из тагамитов мелкие, определяется дроблением породы при обогащении, в результате которого исходные зёрна разрушаются.

Полученные результаты по сравнению якутитов и импактных алмазов из тагамитов совершенно новые, вносят существенный вклад в понимание природы импактного алмазообразования и показывают пути дальнейших исследований импактогенеза.

Данное исследование выполнено в рамках грантов РФФИ №№18-05-70063/18, 18-45-140011 ра, 16-05-00873а, ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2019-0003) и по государственному заданию ИГМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алмазоносные импактиты Попигайской астроблемы / В.Л.Масайтис, М.С.Мащак, А.И.Райхлин и др. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998.*
2. *Афанасьев В.П., Елисеев А.П.* Сравнительная характеристика «якутитов» и импактных алмазов Попигайской астроблемы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. 2015. С. 42–43.
3. *Афанасьев В.П., Ефимова Э.С., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Атлас морфологии алмазов России. – Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГМ, 2000.
4. *Вальтер А.А., Ерёмченко Г.К., Квасница В.Н., Полканов Ю.А.* Ударно-метаморфогенные минералы углерода. – Киев: Наук. думка, 1992.
5. *Вишневский С.А., Афанасьев В.П., Аргунов К.П., Пальчик Н.А.* Импактные алмазы: их особенности, происхождение и значение. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997.
6. *Граханов С.А.* Алмазы импактного генезиса в россыпях северо-востока Сибирской платформы // Вестн. Воронежского ун-та. 2001. № 12. С. 236–238.
7. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: Недра, 2003.
8. *Изотопный состав и особенности кристаллической структуры природных поликристаллов алмаза с лонсдейлитом / Э.М.Галимов, И.М.Ивановская, Ю.А.Клюев и др. // Геохимия. 1980. № 4. С. 533–539.*
9. *Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов из россыпей Северо-Востока Сибирской платформы в связи с про-

- блемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений. Дисс... канд. геол.-минер. наук (в форме доклада). – Новосибирск: ИМП СО РАН, 1994.
10. Масайтус В.Л. Импактные алмазы Попигайской астроблемы: основные свойства и практическое применение // ЗРМО. Ч. СХЛII. 2013. № 2. С. 1–10.
 11. Масайтус В.Л., Футергендлер С.И., Гневушев М.А. Алмазы в импактиках Попигайского кратера // Зап. ВМО. 1972. № 101. Вып. 1. С. 108–113.
 12. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. – М.: Наука, 1984.
 13. Угапьева С.С., Заякина Н.В., Павлушин А.Д., Олейников О.Б. Результаты комплексного минералогического исследования якутитов из россыпей Анабарского алмазоносного района // Отечественная геология. 2010. № 5. С. 37–44.
 14. Чумак М.А., Бартошинский З.В. Якутит – новая разновидность алмаза // Геолог Якутии. 1968. № 27. С. 29–38.
 15. *Luminescence* of natural carbon nanomaterial: Impact diamonds from the Popigai crater / A.Yelisseyev, A.Khrenov, V.Afanasyev et al. // *Diamond and Related Materials*. 2015. Vol. 58. P. 69–77.
 16. *Mineralogical* and crystallographic features of polycrystalline yakutite diamond / H.Ohfuji, M.Nakaya, A.P.Yelisseyev et al. // *Journal of mineralogical and petrological sciences*. 2017. № 112. Vol. 1. P. 46–51.
 17. *Natural* occurrence of pure nano-polycrystalline diamond from impact crater / H.Ohfuji, T.Irifune, K.D.Litasov et al. // *Scientific Reports*. 1 October 2015. Vol. 5. Article number 14702.
 18. *Optical* properties of impact diamonds from the Popigai astrobleme / A.Yelisseyev, G.S.Meng, V.Afanasyev et al. // *Diamond and Related Materials*. 2013. Vol. 37. P. 8–16.
 19. *Raman* identification of lonsdaleite in Popigai impactites / S.V.Goryainov, A.Y.Likhacheva, S.V.Rashchenko et al. // *Raman spectroscopy*. 2014. № 45. P. 305–313.
 20. *Yakutites*: are they impact diamonds from the Popigai crater? / A.P.Yelisseyev, V.P.Afanasyev, A.V.Panchenko et al. // *Lithos*. 2016. Vol. 265. P. 278–291.

YAKUTITES ARE IMPACT DIAMONDS OF THE POPIGAI ASTROBLEME

V.P.Afanasyev¹, S.S.Ugap'eva², A.P.Yelisseyev¹, S.A.Gromilov³, A.D.Pavlushin²
 (¹ V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk; ² Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk; ³ Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk)

The results of the comparative analysis of the primary impact diamonds from the Skal'noye deposit and yakutites from two placers of the Ebelyakh and the Dogoy rivers are presented. Studies were conducted to identify the main features of the impact diamonds formation in the Popigai astrobleme. Yakutites and diamonds from tagamites have impact nature. They are paramorphs on graphite of target rocks of the Archean gneisses. Differences between them are determined by the place of their formation. Yakutites were formed in the explosion epicenter and were thrown out of the crater at a distance of over 500 km in radial directions, and from the vertical ejection they got back to the crater. In tagamites, impact diamonds were formed simultaneously with the rock melting due to the shock wave that came from the epicenter.

Keywords: diamond, yakutites, placers, the Siberian platform, genesis, mineralogy.

