

УДК 549.01 + 549.08 + 549.765.2

ВКЛЮЧЕНИЕ КОКЧЕТАВИТА В КРИСТАЛЛЕ АЛМАЗА ИЗ ВЕНЕСУЭЛЫ – СВИДЕТЕЛЬСТВО СУБДУКЦИИ МАТЕРИАЛА КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

© 2024 г. А. В. Корсаков¹, Д. С. Михайленко^{1,2,*}, А. О. Серебрянников¹,
А. М. Логвинова¹, член-корреспондент РАН Д. П. Гладкочуб³

Поступило 14.02.2024 г.

После доработки 28.02.2024 г.

Принято к публикации 04.03.2024 г.

В рамках нашего исследования детально изучены кристаллы алмаза из россыпного месторождения Гуаниамо (Венесуэла) с многочисленными минеральными включениями. Включения в изученных алмазах представлены типичным набором минералов-индикаторов эклогитового парагенезиса: омфацитом, гранатом, кианитом, коэситом и рутилом. Помимо одиночных минеральных включений были диагностированы полифазные включения. Минеральные ассоциации полифазных включений, соседствующих на расстоянии менее 100 микрометров в пределах одной ростовой зоны, могут значительно отличаться. Так, в одном из исследованных кристаллов алмаза полифазные включения представлены следующими ассоциациями: санидин–доломит–анатаз и магнетит–рутил–доломит–апатит–кокчетавит–графит. Следует отметить, что это первая находка кокчетавита в виде включения в кристаллах алмаза кимберлитового происхождения. Ранее эта гексагональная полиморфная модификация $KAlSi_3O_8$ была диагностирована лишь в минералах пород континентальной коры, образовавшихся в условиях высокобарического или ультравысокобарического метаморфизма. Таким образом, присутствие кокчетавита в виде включений в кристаллах алмаза, выносимых кимберлитами, позволяет сделать вывод о субдукции материала континентальной коры на мантийные глубины и о его важной роли в метасоматических изменениях пород верхней мантии.

Ключевые слова: алмаз, коэсит, кокчетавит, К-кимрит, КР-картирование, субдукция континентальной коры

DOI: 10.31857/S2686739724070141

ВВЕДЕНИЕ

Алмаз и минеральные включения в нём являются источником ценной информации о вещественном составе мантии Земли и процессах, протекающих на различных глубинах.

Многолетние исследования позволили выявить и подтвердить существование двух основных типов материнского субстрата для кристаллизации включений, диагностируемых в кристаллах алмазах: Р-тип – перидотитовый

(оливин, ортопироксен, клинопироксен, хромит) и Е-тип – эклогитовый (коэсит, омфацит, grosсуляр-альмандиновый гранат, кианит, рутил). Коэсит – высокобарическая полиморфная модификация SiO_2 – является типичным минералом эклогитового парагенезиса [1, 2] и свидетельствует о субдукционной природе протолита [3].

В настоящее время данные о коэситсодержащих кристаллах алмаза немногочисленны (описано ~250 включений). Это связано с преобладанием кристаллов алмаза перидотитового парагенезиса [2]. Но даже среди включений эклогитового парагенезиса включения коэсита в кристаллах алмаза достаточно редки [2]. Наибольшее количество включений коэсита в алмазе диагностировано в кристаллах алмаза из Венесуэлы (22% от общего числа включений) и лампроитовой трубки Аргайл (19%) [2]. Высокие содержания кристаллов алмаза эклогитового парагенезиса в месторождениях Венесуэлы

¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск, Россия

²Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург, Россия

³Институт Земной Коры Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск, Россия

*E-mail: pazilovdenis@igm.nsc.ru

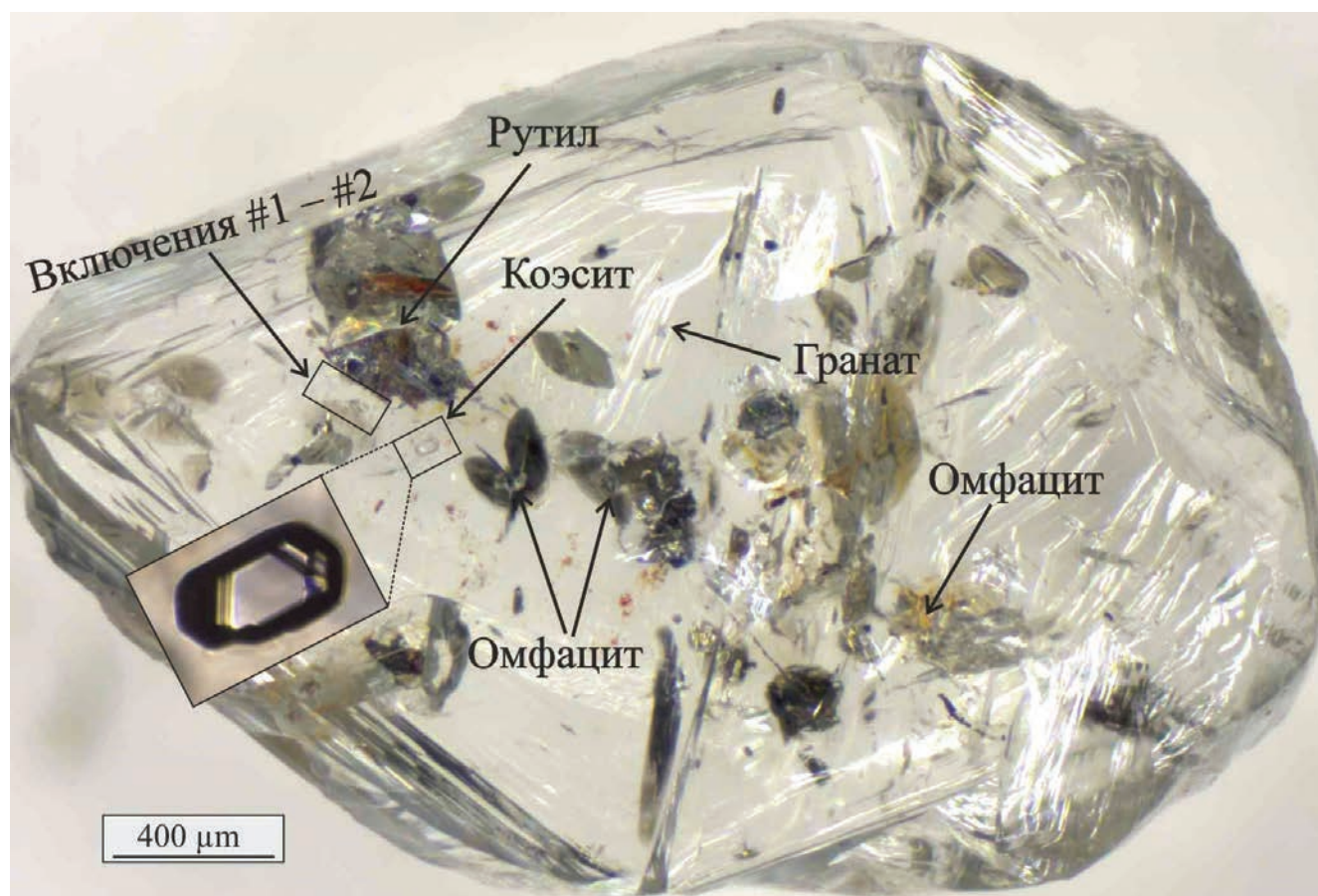


Рис. 1. Фотография изученного кристалла алмаза из Венесуэлы с минеральными включениями. Чёрными рамками выделены фрагменты кристалла алмаза с включением коэсита (рис. 2) и сосуществующих полифазных включений калиевых минералов (рис. 3, 4).

позволили Н.В. Соболеву с соавторами [4] высказать предположение о необычном составе глубинной литосферной мантии в этом районе и значительном вкладе субдуцированных базальтов в её образовании. Наряду с широко распространёнными включениями коэсита в кристаллах алмаза из Венесуэлы также отмечаются находки санидина [4]. Санидин редко встречается в первичных ассоциациях ксенолитов, выносимых кимберлитовыми расплавами ([3] и ссылки в этой работе). Напротив, в породах континентальной коры калиевый полевой шпат (KAlSi_3O_8) является важным и широко распространённым минералом. Кокчетавит имеет такой же состав и является гексагональной полиморфной модификацией KAlSi_3O_8 . Впервые этот минерал был найден в виде включений в порфиробластах граната и клинопироксена высокобарических карбонатно-силикатных алмазоносных пород Кокчетавского массива [5]. С. Л. Хвангом с соавторами [5] были предложены две модели образования этого минерала: (i) дегидратация К-кимрита ($\text{KAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$); (ii) метастабильная

раскристаллизация высокобарических расплавов, образовавшихся при частичном плавлении пород континентальной коры. Находки кокчетавита совместно с жидкой водой во флюидных и полифазных включениях позволили А. О. Михно с соавторами [6] предположить, что образование кокчетавита происходило за счёт разложения К-кимрита с обособлением воды в виде самостоятельной фазы. Вместе с тем находки кокчетавита в высокобарических породах континентальной коры [7], не испытавших метаморфизм сверхвысоких давлений, использовались в качестве свидетельств метастабильной кристаллизации этого минерала из высокобарического расплава. Однако экспериментальные исследования показали, что его структура остаётся стабильной вплоть до 10 ГПа [8]. Таким образом, данный минерал может образовываться и оставаться стабильным в условиях верхней мантии, а наиболее благоприятными объектами для поиска кокчетавита являются включения в кристаллах алмаза. В данной работе мы представляем первую находку кокчетавита во включениях в кристалле

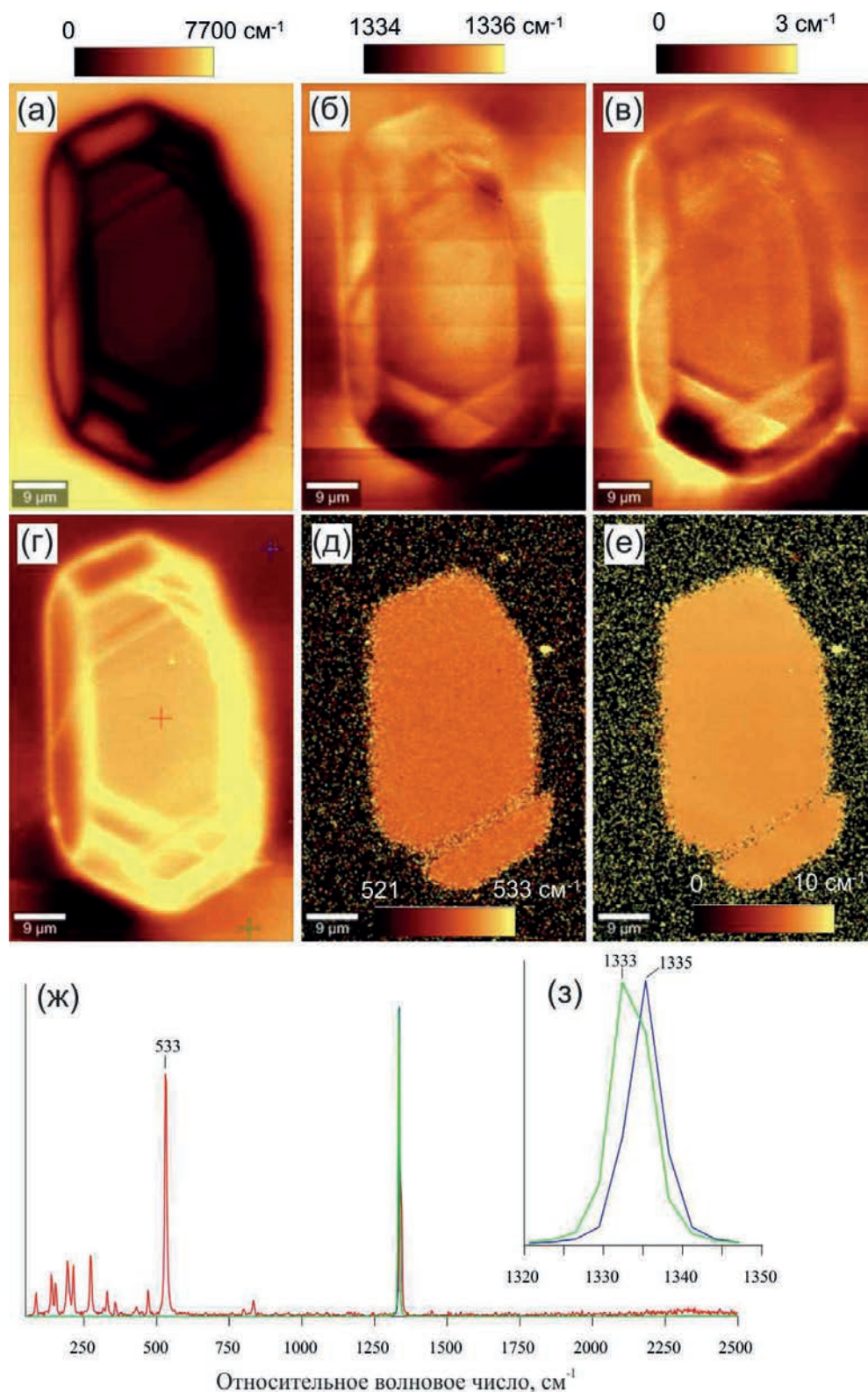


Рис. 2. Изображения, полученные с помощью КР-картирования и демонстрирующие остаточные напряжения в кристалле алмаза (а–г), где яркость показывает интенсивность выбранного пика в точке. Смещение алмазного пика (1332 см^{-1}) и наиболее интенсивного коэситового пика (521 см^{-1}) на 4 см^{-1} и 12 см^{-1} , соответственно, (рис. 2 б) указывает на значительные остаточные напряжения в алмазе вокруг включения коэсита и в самом включении (рис. 2 д, е). (ж)–(з) – представительные КР-спектры для кристалла алмаза и включения коэсита в нем (увеличенный фрагмент с рис. 1).

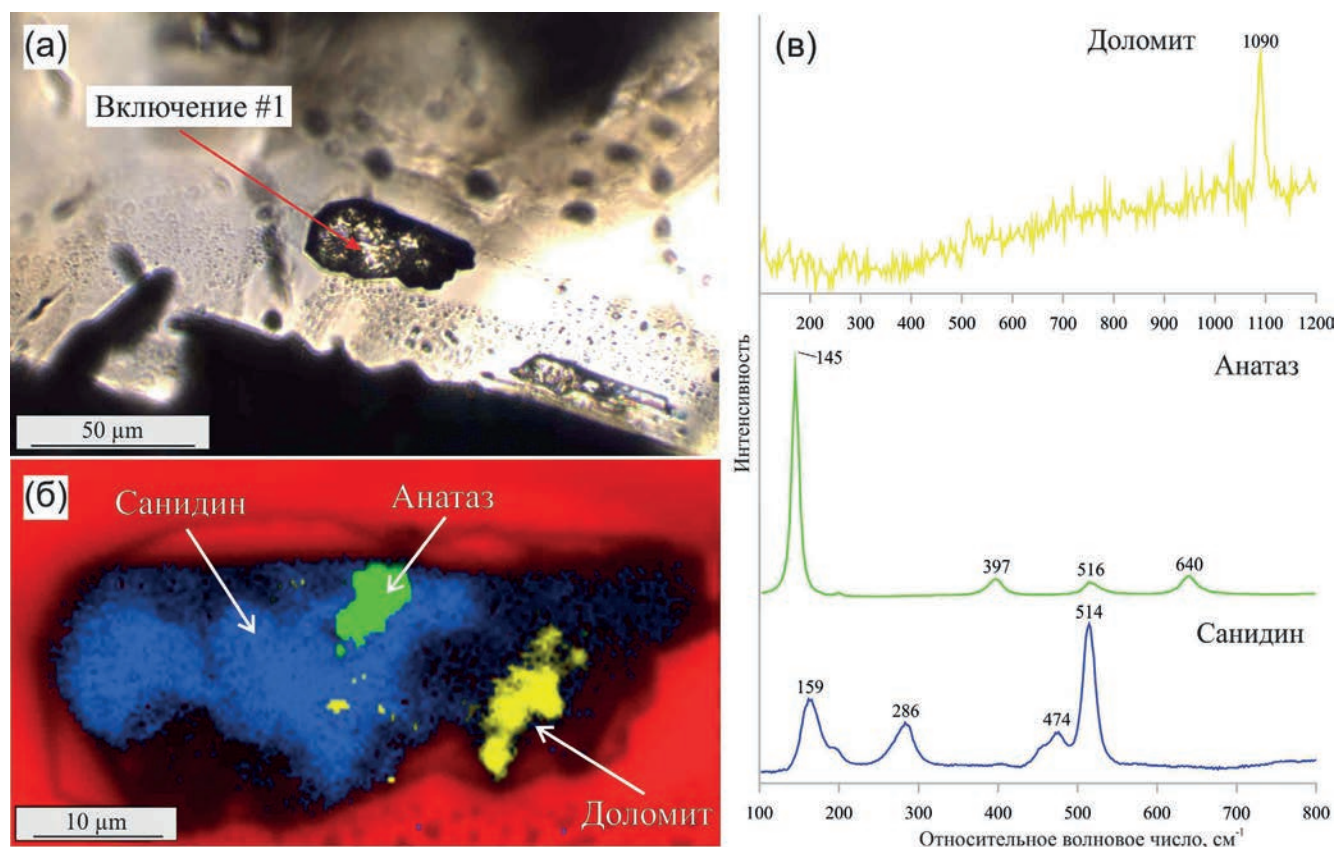


Рис. 3. Трёхфазное включение #1 в кристалле алмаза Vn-65. (а) фотография в проходящем свете; (б) КР-карта, демонстрирующая минеральный состав включения (цвета соответствуют спектрам на рисунке в); (в) КР-спектры минералов, идентифицированных во включении #1.

алмаза из кимберлитов Венесуэлы и рассматриваем возможные модели его образования.

МЕТОДИКА

Аналитические работы выполнены в “ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН” (г. Новосибирск). Визуальное определение минеральных включений в кристаллах алмаза проводилось использованием микроскопа Olympus BX51, совмещённого с фото-видеокамерой высокого разрешения Olympus COLOR VIEW III. Идентификация минеральных включений проводилась методом КР-картирования с использованием автоматизированной системы Аругон (WITec) в ИГМ СО РАН. Данная система оснащена двумя лазерами: 488 и 633 нм. В данном исследовании был использован 633 нм лазер мощностью 30 мВт, так как при использовании 488 нм лазера люминесценция маскировала практически все КР-полосы, делая невозможной идентификацию включений. Площадь картирования зависела от размера включений, шаг картирования составлял 250 нм, интервал

накопления спектра — $100\text{--}2700\text{ см}^{-1}$, время накопления в каждой точке — 3 с. ИК-спектры кристаллов алмаза были получены при помощи спектрометра Bruker Vertex 70 FTIR с микроскопом HYPERION 2000 IR в диапазоне $5000\text{--}600\text{ см}^{-1}$ (апертура $50\times 50\text{ }\mu\text{м}$, спектральное разрешение 2 см^{-1}).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами был изучен октаэдрический кристалл алмаза ($3\times 4\text{ мм}$) из россыпного месторождения Гуаниамо (Венесуэла) с многочисленными минеральными включениями (рис. 1). После изучения морфологических особенностей кристалл алмаза был приполирован с одной стороны для удобства изучения включений методом КР-картирования. В кристалле алмаза Vn-65 диагностирован полный набор минералов эклогитового парагенезиса — омфациит, гранат, кианит, коэсит и рутил (табл. 1). Методом конфокального КР-картирования были изучены не выведенные на поверхность кристалла три включения

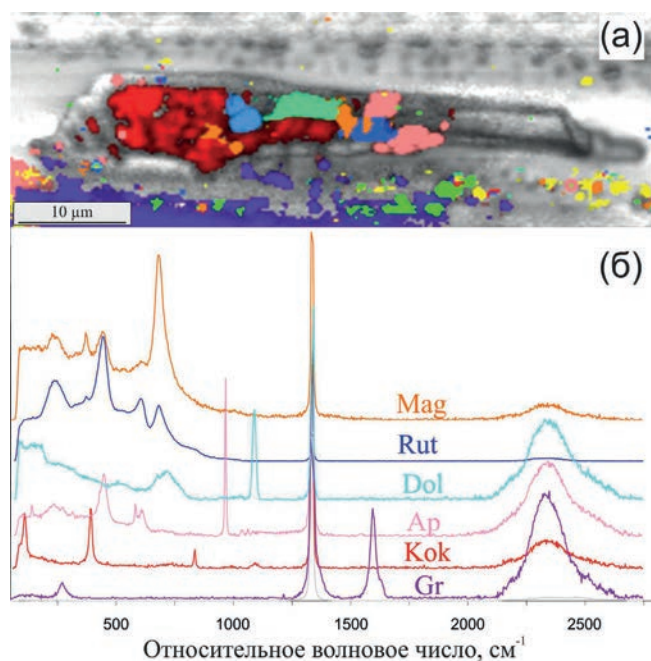


Рис. 4. Полифазное включение #2 в алмазе Vn-65: (а) КР-карта включения #1 (цвета соответствуют спектрам на рисунке 4 б); (б) КР-спектры минералов, диагностированных во включении #2. Mag = магнетит, Rut = рутил, Dol = доломит, Ap = апатит, Kok = кокчетавит, Gr = графит.

коэсита и несколько полифазных включений (рис. 2–4).

Полифазное включение #1 размером 50×20 мкм состоит из доломита, санидина и анатаза (рис. 3). Полифазное включение #2 расположено на расстоянии менее 50 микрон от первого и представлено преимущественно кокчетавитом, а также магнетитом, рутилом, апатитом, доломитом и графитом (рис. 3). Оба включения находятся в одной ростовой зоне с включением коэсита (рис. 1), что указывает на их совместное образование. Люминесценция исследованного кристалла алмаза в области водных колебаний ($\sim 3600 \text{ см}^{-1}$) не позволила определить возможное присутствие воды в этих полифазных включениях. Анализ ИК-спектров центральной и краевой областей кристалла алмаза (рис. 5), а также области, содержащей полифазные включения, свидетельствует о присутствии в полифазном включении #2 небольшого количества жидкой воды. Вероятно, образование кокчетавита в данном включении могло происходить за счёт разложения К-кимрита при подъёме данного кристалла на поверхность. Ранее аналогичная модель образования кокчетавита была предложена для пород Кокчетавского массива [6].

Отсутствие каких-либо трещин и наличие сильного тангенциального напряжения в части алмаза, примыкающей к включению коэсита, свидетельствует о практически идеальных условиях сохранности исследуемых включений. Одно из закартированных включений коэсита имеет размеры 30×35 мкм и располагается в центральной части алмаза-хозяина. Оно характеризуется отрицательной формой кристалла алмаза (рис. 1). КР-спектры коэсита характеризуются основным (533 см^{-1}) и дополнительным (274 см^{-1}) пиками. Смещение основной моды коэсита в этом включении составляет 15.4 см^{-1} , рассчитанное остаточное напряжение составляет 4.3 ГПа без каких-либо существенных вариаций по объёму включения (рис. 2 д–е). Большое количество включений коэсита (6 штук, табл. 1) в одном кристалле алмаза указывает на широкое распространение коэсита в протолите, метасоматическое воздействие на который и привело к появлению алмаза.

Как было отмечено ранее, материнский субстрат для кристаллизации алмазов Венесуэлы значительно отличается от субстрата большинства алмазных месторождений мира [4]. В алмазах Венесуэлы минеральные включения эклогитового парагенезиса количественно преобладают над “перидотитовыми” [4, 9]. Этот факт объясняют специфичным строением глубинных частей литосферы — преобладанием субдущированных на мантийные глубины базальтов океанического дна. Включения эклогитового парагенезиса в венесуэльских алмазах характеризуются широким минеральным разнообразием и имеют достаточно широкий диапазон составов. Среди этого минералогического разнообразия были диагностированы включения граната, клинопироксена (омфацита), коэсита, санидина, (титано)- магнетита, флогопита и др. [4]. Вместе с тем следует отметить, что алмазоносные санидинсодержащие эклогиты весьма редки, к настоящему времени их находки известны лишь в кимберлитовой трубке Робертс Виктор [10]. Кроме того, в присутствии водосодержащего флюида калиевый полевой шпат является нестабильным и превращается в К-кимрит в поле стабильности алмаза [6]. Тем не менее, до сих пор данная фаза не была диагностирована в ксенолитах алмазоносных пород. Лишь в алмазосодержащих породах Кокчетавского массива Михно с соавторами [6] предположительно идентифицировали данную фазу методами КР-спектроскопии. Альтернативным источником калия в мантии могут выступать богатые этим элементом породы континентальной коры, примером которых являются

Таблица 1. Распространенность минеральных включений в аллювиальных кристаллах алмаза из Венесуэлы, согласно нашим данным и [Sobolev et al., 1998]

Минерал	Sobolev et al., 1998	Наши данные
Гранат	61	4
Омфацит	84	3
Кианит	—	1
Рутил	6	3
Коэсит	26	6
Санидин	4	2
Кокчетавит	—	3
Магнетит	9	1
Апатит	—	1
Доломит	—	2
Графит	—	3
Всего:	190 включений в 45 кристаллах алмаза	29 включений в 1 кристалле алмаза

породы Кокчетавского массива [11]. Именно в таких породах кокчетавит был найден впервые. Как отмечалось ранее, образование кокчетавита в полифазных включениях связывают с метастабильной раскристаллизацией высокобарических расплавов, происходящей при быстром подъёме ультравысокобарических пород [5]. Кимберлитовый расплав является одним из самых быстрых транспортёров мантийных пород на Земле: они поднимаются с глубин более 200 км в течение нескольких дней. Быстрый подъём кристаллов алмаза с захваченными расплавленными включениями может способствовать образованию в них кокчетавита, но до сих пор данный минерал не был диагностирован в кристаллах алмаза кимберлитового происхождения. Следует отметить, что все находки кокчетавита были сделаны во включениях, состав которых оценивается как “гранитоидный” [7]. Субдуцируемые породы континентальной коры могут являться одним из субстратов, наиболее благоприятных для генерации высококалийевых гранитоидных расплавов [12]. В исследованных нами полифазных включениях кокчетавит сосуществует с ассоциацией, представленной доломитом, рутилом, магнетитом, апатитом и графитом (рис. 3). В одной ростовой зоне с этими полифазными включениями встречаются также однофазные включения граната и клинопироксена. Схожая ассоциация — гранат—клинопироксен—доломит—графит/алмаз — характерна для пород Кумды-Кольского месторождения, являющегося типичным проявлением результата (ультра)- высокобарического метаморфизма [11]. Большинство включений, содержащих кокчетавит в минералах из

высокобарических пород Кокчетавского массива, сложены слюдами (фенгит, флогопит) — кристобалитом±кальцитом±апатитом±леллингитом [5]. В кристаллах алмаза из Венесуэлы нами обнаружена схожая ассоциация, что позволяет предполагать вовлечение субдуцированного материала континентальной коры в метасоматические процессы преобразования мантии Земли.

Субдукция океанической коры является более распространённым процессом по сравнению с субдукцией континентальных пород. При субдукции континентальной коры на различных глубинах происходит отделение от слэба флюидов или расплавов, обогащённых калием, летучими компонентами и несовместимыми элементами, которые в последующем оказывают значительное влияние на состав вышележащей мантии [12]. Так, следствием процесса континентальной субдукции стало формирование Кумды-Кольского месторождения технических алмазов [11].

Помимо значительного вклада в глобальный углеродный цикл субдукция континентальной коры приводит к образованию (ультра-) калиевых силикатных или силикатно-карбонатных расплавов [13, 14], которые играют важную роль в глубинном минералообразовании, включая алмазообразование. Участие расплавов/флюидов, обогащённых щелочами (в первую очередь калием), в процессе кристаллизации алмаза было описано в целом ряде работ (см. [14] и ссылки в этой работе). Калиевый клинопироксен с содержанием K_2O вплоть до 1.5 мас. % является минералом-индикатором сверхвысоких давлений

([11] и ссылки в этой работе). Ранее было отмечено повышенное содержание K_2O во включениях пироксена в алмазах Венесуэлы по сравнению с алмазами из других месторождений мира [15].

Исследования дефектно-примесного состава [16] и изотопного состава азота и углерода метаморфогенных кристаллов алмаза Кокчетавского массива позволили выявить ряд особенностей [17]. Азот в данных кристаллах находится преимущественно в С-центрах, а общая концентрация азота может достигать нескольких тысяч ppm [16, 17]. Стабильные изотопы углерода и азота в этих кристаллах алмаза убедительно свидетельствуют о метаосадочном происхождении источника углерода [16, 17]. Изотопный состав кислорода в минеральных включениях в кристаллах алмаза из Венесуэлы демонстрирует аномально высокие изотопные отношения — $\delta^{18}O > 16\text{‰}$ [18]. Предполагается, что эти аномальные значения — результат субдукции изменённых базальтов океанического дна на мантийные глубины. Также важно отметить, что существует обратная зависимость между низким значением $\delta^{13}C$ алмаза-хозяина ($-11.5 - -22.3\text{‰}$) и высоким значением $\delta^{18}O$ коэсита во включении [18]. Подобный изотопный состав углерода указывает на значительный вклад биогенного углерода, субдуцированного на мантийные глубины. Стоит отметить, что такие низкие значения $\delta^{13}C$ типичны для метаморфических алмазов, в образовании которых огромное значение играет углерод из осадочных пород [17]. Концентрация азота в исследованных кристаллах алмаза составляет ~ 100 ppm в форме А-центров и ~ 285 ppm В-центров. Суммарная концентрация азота не превосходит 400 ppm. Таким образом, высокая степень агрегации азота ($\sim 74\%$) в этих кристаллах алмаза указывает на их отжиг ~ 1 млрд лет при температуре $1100\text{--}1200^\circ\text{C}$ [9], что может свидетельствовать об относительно древнем возрасте образования данных кристаллов.

Кимберлиты Венесуэлы, согласно [19], имеют протерозойский возраст (700–800 млн лет). Реконструкция вещественного состава разреза мантии Земли, территориально относящегося к Венесуэле, показала преобладание высокодеплетированных лерцолитов и гарцбургитов [20]. Протерозойская или более древняя субдукция метаосадков могла привести к некоторому обогащению истощённой мантии под Гуаниамо и послужить источником для образования алмазов с включениями корового источника [20]. Наиболее древними породами, окружающими

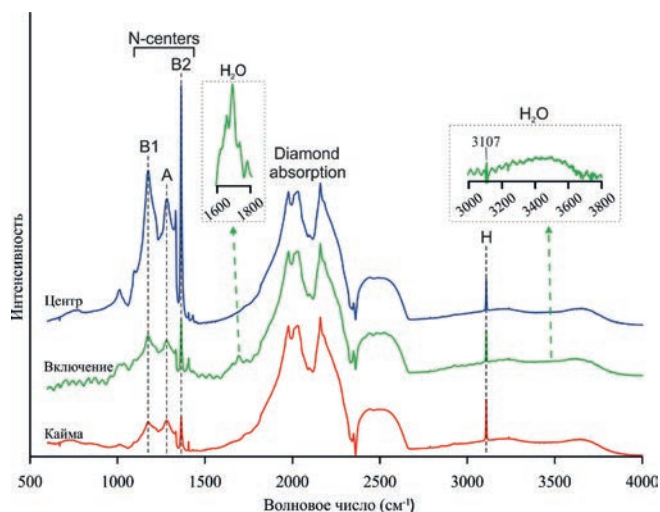


Рис. 5. ИК-спектры поглощения алмаза с минеральными включениями. Вынесенные отдельные фрагменты ИК-спектра демонстрируют присутствие, вероятно, жидкой воды в области с включениями кокчетавита. Центр — центральная часть кристалла алмаза. Кайма — краевая часть кристалла алмаза без видимых включений. Включение — соответствует области алмаза с полифазными включениями.

Гвианский щит, являются архейские метавулканогенно-осадочные, метаосадочные комплексы зеленокаменных поясов (2.7–2.5 млрд лет) и разделяющие их более древние мигматито-гнейсы с гранитами позднего архея. Вовлеченность этих комплексов в процессы субдукции могла привести к значительному обогащению мантии коровым материалом, который впоследствии стал средой для кристаллизации алмазов с доминирующим количеством включений эклогитового парагенезиса, а также весьма специфичными изотопными характеристиками самих алмазов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Н.М. Боевой — ответственному секретарю редколлегии журнала “ДАН. Науки о Земле” и двум анонимным рецензентам, которые помогли значительно улучшить статью.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 21-77-10006.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы утверждают об отсутствии у них конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайленко Д. С. и др. Находка коэсита в алмазоносном кианитовом эклогите из кимберлитовой трубки Удачная (Сибирский кратон) // ДАН. 2019. Т. 48. № 4. Р. 428–431.
2. Соболев Н. В. Коэсит как индикатор сверхвысоких давлений в континентальной литосфере // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 1. Р. 95–104.
3. Jacob D. E. Nature and origin of eclogite xenoliths from kimberlites // Lithos. 2004. V. 77. № 1. Р. 295–316.
4. Sobolev N. V. et al. Unusual upper mantle beneath Guianamo, Guyana shield, Venezuela: Evidence from diamond inclusions // Geology. 1998. V. 26. № 11. Р. 971–974.
5. Hwang S.-L. et al. Kokchetavite: a new potassium-feldspar polymorph from the Kokchetav ultrahigh-pressure terrane // Contrib Mineral Petrol. 2004. V. 148. № 3. Р. 380–389.
6. Mikhno A. O., Schmidt U., Korsakov A. V. Origin of K-cymrite and kokchetavite in the polyphase mineral inclusions from Kokchetav UHP calc-silicate rocks: evidence from confocal Raman imaging // European Journal of Mineralogy. 2013. V. 25. № 5. Р. 807–816.
7. Borghi A. et al. The role of continental subduction in mantle metasomatism and carbon recycling revealed by melt inclusions in UHP eclogites // Science Advances. 2023. V. 9. № 11.
8. Romanenko A. V. et al. Compressibility and pressure-induced structural evolution of kokchetavite, hexagonal polymorph of KAlSi_3O_8 , by single-crystal X-ray diffraction // American Mineralogist. 2024. (in press).
9. Kaminsky F. V. et al. Diamond from the Guianamo area Venezuela // The Canadian Mineralogist. 2000. V. 38. № 6. Р. 1347–1370.
10. Hardman M. F. et al. Characterising the Distinct Crustal Protoliths of Roberts Victor Type I and II Eclogites // Journal of Petrology. 2021. V. 62. № 12. Р. egab090.
11. Sobolev N. V., Shatsky V. S. Diamond inclusions in garnets from metamorphic rocks: a new environment for diamond formation // Nature. 1990. V. 343. Р. 742–746.
12. Hermann J. et al. Aqueous fluids and hydrous melts in high-pressure and ultra-high pressure rocks: Implications for element transfer in subduction zones // Lithos. 2006. V. 92. Р. 399–417.
13. Korsakov A. V., Theunissen K., Smirnova L. V. Intergranular diamonds derived from partial melting of crustal rocks at ultrahigh-pressure metamorphic conditions // Terra Nova. 2004. V. 16. Р. 146–151.
14. Korsakov A. V., Hermann J. Silicate and carbonate melt inclusions associated with diamonds in deeply subducted carbonate rocks // Earth and Planetary Science Letters. 2006. V. 241. № 1. Р. 104–118.
15. Kaminsky F. V. et al. Diamond from the Los Coquitos Area, Bolivar State, Venezuela // The Canadian Mineralogist. 2006. V. 44. № 2. Р. 323–340.
16. De Corte K. et al. Diamond growth during ultrahigh-pressure metamorphism of the Kokchetav massif, northern Kazakhstan // The Island Arc. 2000. V. 9. Р. 284–303.
17. Cartigny P. et al. The origin and formation of metamorphic microdiamonds from the Kokchetav massif, Kazakhstan: a nitrogen and carbon isotopic study // Chemical Geology. 2001. V. 176. № 1–4. Р. 265–281.
18. Schulze D. J. et al. Extreme crustal oxygen isotope signatures preserved in coesite in diamond // Nature. 2003. V. 423. № 6935. — Р. 68–70.
19. Channer D. M. D., Egorov A., Kaminsky F. Geology and structure of the Guianamo diamondiferous kimberlite sheets, south-west Venezuela // RBG. 2001. V. 31. № 4. Р. 615–630.
20. Schulze D. J. et al. Layered mantle structure beneath the western Guyana Shield, Venezuela: Evidence from diamonds and xenocrysts in Guianamo kimberlites // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2006. V. 70. № 1. Р. 192–205.

INCLUSION OF KOKCHETAVITE IN A DIAMOND CRYSTAL FROM VENEZUELA: AN EVIDENCE OF CONTINENTAL CRUST SUBDUCTION

A. V. Korsakov^a, D. S. Mikhailenko^{a,b,#}, A. O. Serebryannikov^a, A. M. Logvinova^a,

Corresponding Member of the RAS D. P. Gladkochub^c

^a*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

^b*Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation*

^c*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

[#]*E-mail: pazilovdenis@igm.nsc.ru*

We have examined in detail diamond crystals from the Guanyamo placer deposit (Venezuela) with numerous mineral inclusions. Inclusions in the studied diamonds are represented by a typical set of eclogite-paragenesis indicator minerals: omphacite, garnet, kyanite, coesite and rutile. In addition to single mineral inclusions, polyphaser inclusions have also been diagnosed. The mineral associations of polyphase inclusions adjacent to each other within a distance of less than 100 micrometres within the same growth zone can vary significantly. For example, in one of the diamond crystals studied, polyphase inclusions are represented by the following associations: sanidine – dolomite – anatase and magnetite – rutile – dolomite – apatite – kokchetavite – graphite. It should be noted that this is the first discovery of kokchetavite as an inclusion in diamond crystals of kimberlite origin. Previously, this hexagonal polymorphic modification of KAlSi_3O_8 had only been diagnosed in minerals from continental crustal rocks formed under conditions of high or ultra-high mafic metamorphism. Thus, the presence of kokchetavite as inclusions in diamond crystals carried by kimberlites allows us to infer the subduction of continental crustal material to mantle depths and its important role in metasomatic alteration of upper mantle rocks.

Keywords: diamond, coesite, kokchetavite, K-cymrite, Raman imaging, subduction of the continental crust