

УДК 549.01+549.08+549.765.2

НАХОДКА КОЭСИТА В АЛМАЗОНОСНОМ КИАНИТОВОМ ЭКЛОГИТЕ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ (СИБИРСКИЙ КРАТОН)

Д. С. Михайленко¹, А. В. Корсаков^{1,*}, О. В. Резвухина¹,
А. В. Головин¹, академик РАН Н. В. Соболев^{1,2}

Поступило 06.02.2019 г.

В работе представлены данные о находке коэсита в кианитовом графит-алмазсодержащем ксенолите эклогита из кимберлитовой трубки “Удачная-Восточная”. Реликты коэсита обнаружены в интенсивно трещиноватом гранате, что исключает возможность его полного бронирования от воздействия кимберлитового расплава и подтверждается типичной вторичной минеральной ассоциацией вокруг этого включения. Полученные данные свидетельствуют о том, что менее глубинные неалмазоносные коэситовые породы (2,7 ГПа) имели отличную от алмазсодержащих коэситовых эклогитов (≥ 4 ГПа) метаморфическую историю. Метасоматическое преобразование породы при взаимодействии с С–О–Н-флюидом при кристаллизации алмазов может являться другой возможной причиной отсутствия коэсита в алмазсодержащих ксенолитах.

Ключевые слова: коэсит, алмаз, кимберлиты, включение, эклогиты.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524874428-431>

Минеральные включения, захваченные природными алмазами в процессе роста, содержат наиболее достоверную информацию о составе субконтинентальной литосферной мантии. Многолетние исследования включений в кристаллах алмаза позволили выявить и подтвердить два основных материнских субстрата для их кристаллизации: перидотитовый (Р-тип) и эклогитовый (Е-тип) [1]. Впервые полный парагенезис коэситового эклогита был зарегистрирован в двух алмазах из россыпей севера Сибирской платформы [2], а включения коэсита в кристаллах алмаза диагностированы в коренных месторождениях из многих регионов мира и составляют до 22% от общего числа включений эклогитового парагенезиса [3], что свидетельствует о важности этого минерала в эклогитовой алмазообразующей среде [4, 5]. Коэсит в неалмазоносных мантийных ксенолитах диагностирован во многих регионах мира [3]. В данной работе представлены данные о находке коэсита в графит-алмазсодержащем ксенолите кианитового эклогита из кимберлитовой трубки “Удачная”.

КР-спектры для зёрен коэсита (рис. 1) были получены с использованием спектрометра LabRam Horiba “Jobin Yvon”, лазером с длиной волны 532 нм (~10 мВт и диаметром пучка ~1 мкм). Состав мине-

ралов ксенолита определён на рентгеновском микроанализаторе Jeol JXA-8100. КР-спектроскопия и микрозондовый анализ отдельных минералов, а также масс-спектрометрические измерения изотопного состава углерода для графита выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Графит-алмазсодержащий ксенолит эклогита Uv-83 (9 × 7 × 4,5 см) представляет собой среднезернистую породу с гранобластовой структурой и зернистой текстурой, состоящую на 60 об.% из округлых интенсивно трещиноватых зёрен граната, 30 об.% реликтов клинопироксена (Срх I), 7 об.% ксеноморфных зёрен коэсита/кварца (рис. 2) и 3 об.% идиоморфных зёрен кианита. Представительные составы граната и омфацита представлены в табл. 1. Аксессуарные минералы (<1 об.%) в исследованном образце представлены алмазом, графитом, титанитом, рутилом, пентландитом, пирротинном и халькопиритом.

Зерно коэсита, окружённое кварцевой каймой мощностью ~30 мкм, диагностировано в интенсивно трещиноватом гранате вместе со вторичными продуктами: хлоритом, амфиболом, клинопироксеном и шпинелью. КР-спектры реликтов коэсита имеют характерные интенсивные пики на 151, 269 и 521 см⁻¹.

Кристаллы алмаза кубического габитуса, три кристалла размером 0,3–0,5 мм, диагностированы *in situ* в шлифах, имеют интенсивную жёлтую окраску и по классификации Орлова относятся к III разновидности [6]. Зёрна графита представлены

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

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

*E-mail: akorsakov74@gmail.com

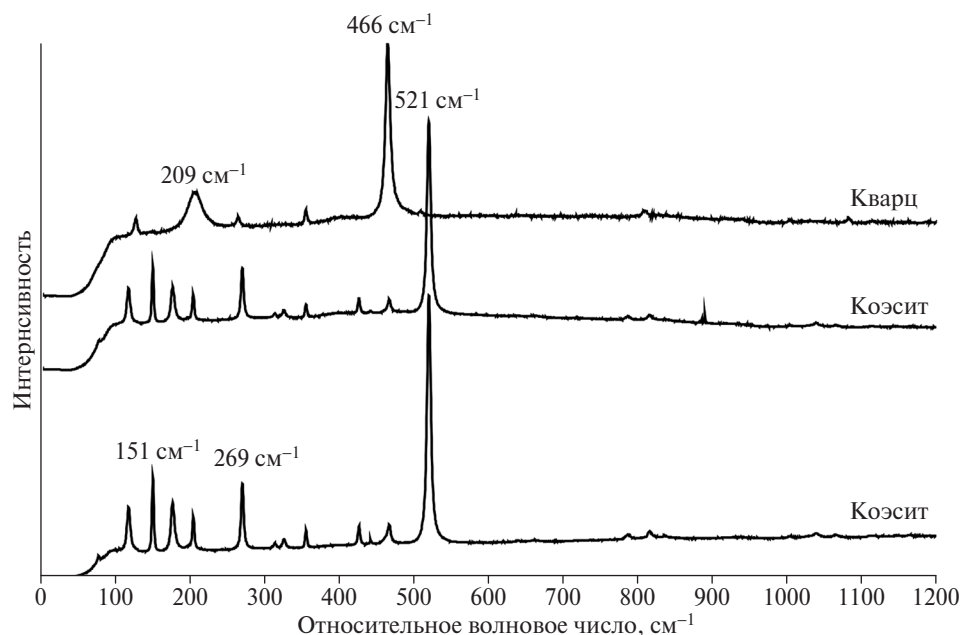


Рис. 1. КР-спектры кварца (кайма) и коэсита (центральная часть) из образца Uv-83.

пинакоидальными кристаллами, находящимися как в межзерновом пространстве, так и в виде включений в первичных пороодообразующих минералах. Изотопный состав углерода для кристаллов графита имеет мантийные показатели и соответствует диапазону от 0,6 до $-2,9\text{‰}$, что хорошо согласуется с изотопными данными Кропотовой и Федоренко [7] для первого алмаз- и графитсодержащего ксенолита эклогита из трубки “Мир” [8].

Уникальная минеральная ассоциация позволяет использовать Grt-Cpx-Ky-Coe-геотермобарометр [9].

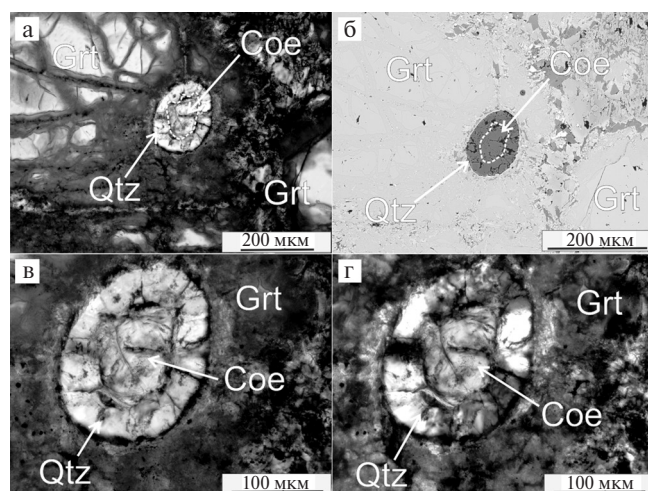


Рис. 2. а — включение коэсита (Coe) в интенсивно трещиноватом гранате (Grt) (проходящий свет); б — зерно коэсита в гранате в обратно-рассеянных электронах; в — увеличенный фрагмент зерна коэсита с кварцевой (Qtz) каймой в проходящем свете; г — зерно коэсита в скрещенных николях.

Рассчитанные значения ($4,9 \pm 0,2$ ГПа и 1050 ± 40 °C) для исследованного эклогита соответствуют области стабильности алмаза и согласуются с ранее полученными данными для графит- и алмазсодержащего ксенолита эклогита из трубки “Удачная” [10].

Таблица 1. Представительные химические анализы состава граната и омфацита из эклогита Uv-83

	Гранат (20)	avg	std		Омфацит (23)	avg	std
SiO ₂	40,5	40,5	0,2	SiO ₂	56,5	56,2	0,30
TiO ₂	0,23	0,25	0,02	TiO ₂	0,18	0,22	0,02
Al ₂ O ₃	22,4	22,2	0,09	Al ₂ O ₃	15,4	15,0	0,18
Cr ₂ O ₃	0,08	0,08	0,02	Cr ₂ O ₃	0,07	0,07	0,01
FeO	12,1	12,2	0,18	FeO	1,8	1,7	0,04
MnO	0,21	0,20	0,01	MnO	0,02	0,01	0,01
MgO	9,5	9,4	0,14	MgO	6,6	6,8	0,14
CaO	15,4	15,3	0,11	CaO	11,2	11,4	0,12
Na ₂ O	0,13	0,11	0,02	Na ₂ O	7,5	7,4	0,13
K ₂ O	н.о.			K ₂ O	0,10	0,08	0,01
Сумма	100,5	100,4	0,19	Сумма	99,35	98,83	0,39
ALM	23,8	23,8	0,52	Jd	54,99	54,09	0,63
SPE	0,43	0,43	0,02	TATs	0,52	0,63	0,07
AND	1,51	1,95	0,39	CATs	1,07	0,73	0,31
GRO	38,8	38,2	0,43	Di	37,88	39,22	0,83
PYR	34,6	34,7	0,49	Hd	5,88	5,71	0,14

Примечание. avg — среднее значение; std — стандартное отклонение; н.о. — не определялось. ALM — альмандин, SPE — спессартин, AND — андрадит, GRO — гроссуляр, PYR — пироп, Jd — жадеит, TATs — чермакит, CATs — Ca молекула Чермака, Di — диопсид, Hd — геденбергит.

Считается, что коэситсодержащие ксенолиты являются результатом субдукции океанической коры на мантийные глубины. А.Л. Рагозин с соавторами [11] при изучении алмазсодержащего эклогита из кимберлитовой трубки “Удачная” диагностировал включения в алмазах: оливин, CaCO_3 и сростки коэсита и клинопироксена. Установить закономерности расположения включений по ростовым зонам кристалла алмаза авторам не удалось [11]. Важным свидетельством при реконструкции эволюции этого алмазсодержащего эклогита является факт отсутствия коэсита и оливина в матриксе эклогита. По мнению авторов [12], один из возможных сценариев образования эклогита — это метасоматическое преобразование перидотитового субстрата C-O-H -флюидом при кристаллизации кристаллов алмаза. В экспериментальных работах А.Ф. Шацкого с соавторами показано, что при реакции CO_2 (27–31 мол.%) + $(\text{Grt} \pm \text{Opx} \pm \text{Cpx}) \rightarrow \text{SiO}_2 \pm \text{Cpx} \pm \text{Grt}$ при 6,5 ГПа выделяется значительное количество свободного SiO_2 , что приводит к формированию коэсит-содержащей эклогитовой минеральной ассоциации. Эти данные свидетельствуют о том, что формирование эклогитовой минеральной ассоциации возможно в результате реакции CO_2 и пород ультраосновного парагенезиса.

Сохранность коэсита в метаморфических комплексах объясняют обычно высокой скоростью экзугмации пород на дневную поверхность, “сухостью” системы или реологическими свойствами минералохозяина, препятствующими инфильтрации флюида [13]. Наличие зёрен коэсита в мантийных ксенолитах свидетельствует о высокой скорости подъёма пород на поверхность кимберлитовым расплавом. Другой возможной причиной сохранности коэсита наряду с высокой скоростью подъёма может являться отсутствие или исключительно низкое содержание воды в кимберлитовом расплаве, что подтверждается на примере изучения основной массы неизмененного кимберлита трубки Удачная-Восточная, не содержащей серпентин [14]. Интенсивная трещиноватость граната исключает возможность его полного бронирования от воздействия кимберлитового расплава, что подтверждается типичной вторичной минеральной ассоциацией вокруг этого включения. Стоит отметить, что находки менее глу-

бинных (3,2–4,2 ГПа) неалмазоносных эклогитов с крупными реликтами коэсита описываются в ряде работ (например, [15]). Это свидетельствует о том, что менее глубинные неалмазоносные коэситовые породы (2,7 ГПа) имели отличную от алмазсодержащих коэситовых эклогитов (≥ 4 ГПа) метаморфическую историю. Другой возможной причиной отсутствия коэсита в алмазсодержащих ксенолитах может являться метасоматическое преобразование породы при взаимодействии с C-O-H -флюидом при кристаллизации алмазов.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 18–77–00041).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shirey S.B., Cartigny P., Frost D.J., et al. // *Revs Mineral. and Geochem.* 2013. V. 75. № 1. P. 355–421.
2. Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Контиль В.И. и др. // *ДАН.* 1976. Т. 230. № 6. С. 1442–1444.
3. Sobolev N.V. // *Rus. Geol. and Geophys.* 2006. V. 47. № 1. P. 94–104.
4. Sobolev N.V., Taylor L.A., Zuev V.M., et al. // *Rus. Geol. and Geophys.* V. 39. № 12. P. 1667–1678.
5. Sobolev N.V., Fursenko B.A., Goryainov S.V., et al. // *PNAS.* 2000. V. 97. № 22. P. 11 875–11 879.
6. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М.: Наука, 1984. 264 с.
7. Кропотова О.И., Федоренко Б.В. // *Геохимия.* 1970. № 10. С. 1279–1282.
8. Бобриевич А.П., Смирнов Г.И., Соболев В.С. // *ДАН.* 1959. Т. 126. № 3. С. 637–640.
9. Ravna E.J.K., Paquin J. // *EMU Notes in Mineral.* 2003. V. 5. № 8. P. 229–259.
10. Mikhailenko D.S., Korsakov A.V., Zelenovskiy P.S., et al. // *Amer. Mineral.* 2016. V. 101. № 10. P. 2155–2167.
11. Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Зедгенизов Д.А. и др. // *ДАН.* 2006. Т. 407. № 5. С. 660–663.
12. Shatskiy A., Litasov K.D., Sharygin I.S., et al. // *Gondwana Res.* 2017. V. 45. P. 208–227.
13. Mosenfelder J.L., Schertl H.P., Smyth J.R., et al. // *Amer. Mineral.* 2005. V. 90. № 5/6. P. 779–789.
14. Kamenetsky M.B., Sobolev A.V., Kamenetsky V.S., et al. // *Geology.* 2004. V. 32. № 10. P. 845–848.
15. Снециус З.В. // *ДАН.* 1990. Т. 313. № 1. С. 153–156.

COESITE INCLUSION IN DIAMONDFEROUS KYANITE-BEARING ECLOGITE FROM KIMBERLITE PIPE UDACHNAYA (SIBERIAN CRATON)**D. S. Mikhailenko¹, A. V. Korsakov¹, O. V. Rezvukhina¹,
A. V. Golovin¹, Academician of the RAS N. V. Sobolev^{1,2}**¹*V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation*²*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation*

Received February 6, 2019

A find of coesite in a kyanite graphite–diamond-bearing eclogite xenolith from the Udachnaya-Vostochnaya kimberlite pipe is described in this paper. The coesite relics were found in intensely fractured garnet indicating some influence of the kimberlite melt, which is supported by the typical secondary mineral assemblage around this inclusion. These data indicate that shallower diamond-free coesite rocks (2,7 GPa) underwent metamorphism distinct from diamond-bearing coesite eclogites (~4 GPa). The metasomatic alteration of rock interacting with C–O–H fluid during diamond crystallization may be another possible reason for the missing coesite in diamond-bearing xenoliths.

Keywords: coesite, diamond, kimberlite, inclusion, eclogite.