

С. С. ГОРОХОВ

**ИНТРУЗИВНЫЕ ЭКЛОГИТЫ —
ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ КОРЕННЫХ АЛМАЗОВ**

(Представлено академиком А. В. Сидоренко 9 VI 1972)

В ряде крупных алмазоносных провинций, таких как Бразильская, Ганская, Гвианская, Уральская и др., коренные источники алмазов не обнаружены, и кристаллы их добывают из аллювиально-делювиальных отложений или из терригенно-осадочных пород, служащих промежуточными коллекторами ⁽¹⁻³⁾. Между тем, в геологической литературе описаны единичные находки кристаллов алмаза в породах различного генезиса: в перидотитовых массивах Канады, в ультраосновных интрузиях Восточных Саян, в амфиболитах Южной Африки и других районах ⁽²⁾. Недавно опубликовано сообщение о находке алмазов в эклогитах Кочетавского массива ⁽⁴⁾. Все эти факты подтверждают правильность идеи, высказанной различными авторами, о вероятности образования кристаллов алмаза вне кимберлитов, и в частности в эклогитах и ультраосновных породах ^(1, 4, 5).

Общепринято представление, что алмазы формируются при высоких давлениях и высоких температурах. Внешние признаки этих условий выражаются в присутствии в кимберлитах барофильных пород и минералов. Наиболее типичными из них являются эклогиты и гранатовые перидотиты, а также гранаты пироп-альмандинового ряда. Алмазоносные эклогиты и перидотиты обнаружены в ксенолитах некоторых кимберлитовых трубок Якутии и Африки ⁽⁶⁾. Минеральный и химический состав алмазоносных эклогитов варьирует и в некоторых случаях приближается или же идентичен эклогитам метаморфических и интрузивных комплексов. Ближе всего к алмазоносным эклогитам стоит группа так называемых эклогитов-включений в ультраосновных породах, которые были впервые выделены Эскола ⁽⁷⁾. Рассматриваемые породы приурочены, как правило, к зонам активного тектогенеза и метаморфизма древних геосинклинальных областей и ассоциируют с перидотитами, пиропсодержащими пироксенитами, габброидами, залегающими среди метаморфических толщ ^(7, 8). Типичные представители эклогитов этого типа описаны в Мугоджарах ⁽⁹⁾.

Эклогиты Мугоджар, совместно с серпентинитами, слагают серию Китарсайских массивов, залегающих среди сланцев и гнейсов протерозойского возраста. Эклогиты представляют собой породы зеленовато- и темно-серого цвета с порфировой структурой. Кроме граната и широксена, присутствующих приблизительно в равных количествах, отмечаются единичные зерна апатита и до 1—2% рутила. В амфиболовых эклогитах за счет замещения пироксена содержание амфибола достигает 25—30%. Омфацит-гранатовые и амфиболовые эклогиты, а также эклогитоподобные породы, в составе которых присутствует плагиоклаз, лишь изредка образуют изолированные тела, чаще наблюдаются взаимные переходы в плагиоклаз-пироксеновые и даже мономинеральные пироксеновые породы. Химический состав эклогитов приведен в табл. 1.

С целью изучения эволюции эклогитового расплава в различных термодинамических условиях образец рассматриваемого эклогита был подвергнут перекристаллизации при высоких давлениях и температурах по

методике, описанной ранее (5). Установлено, что при давлении в 7—10 кбар порода плавится при температуре 900—950°. Как из расплава, так и в твердой фазе кристаллизуются таблитчатые кристаллы пироксена размером от 0,1—0,7 мм, а также мелкие дендриты и бесформенные выделения магнетита. Пироксен, по данным оптических исследований и рентгеноструктурного анализа, близок диопсид-жадениту. Плавление эклогита при 15 кбар происходит при температурах более 1100°. Наряду с пироксеном и магнетитом в этих опытах впервые появляются кристаллы граната. Он

Таблица 1*

Компо- нент	Эклогиты Мугоджар (°)			Эклогиты Ма- рункету (°)		Эклогиты Норвегии (°)		Эклогиты Шотландии (°)		Эклогит-кее- нолит гр. «Мир» (°) Гр	Включения в алмазах Ура- ла (1°)	
	общ.	Гр	Пи	Гр	Пи	Гр	Пи	Гр	Пи		Гр	Пи
SiO ₂	45,6	40,40	47,94	40,84	53,26	40,17	55,56	38,41	52,47	41,82	39,90	55,0
TiO ₂	1,18	0,50	1,08	0,12	6,60	Сл.	0,15	0,10	0,19	0,04	1,18	0,26
Al ₂ O ₃	17,33	19,50	10,46	22,20	7,51	22,07	7,17	22,25	3,58	21,60	20,7	5,78
Cr ₂ O ₃	—	—	—	0,14	1,20	—	—	—	0,03	0,04	0,15	0,06
Fe ₂ O ₃	2,79	2,38	2,47	0,14	1,79	1,19	2,82	2,06	2,39	2,03	—	—
FeO	11,34	19,24	5,87	18,54	2,07	17,26	2,06	22,73	5,35	18,59	15,2	5,88
MnO	0,24	0,51	0,08	0,56	0,04	0,55	6,05	0,97	0,11	0,39	0,21	0,02
MgO	5,35	7,09	10,34	9,41	11,70	11,61	11,32	8,42	13,44	9,36	11,7	12,3
CaO	9,95	7,84	18,20	8,04	17,36	6,82	16,85	5,06	20,66	5,86	11,1	16,6
Na ₂ O	2,59	0,41	1,17	0,10	3,08	—	3,92	—	1,79	—	0,17	3,93
K ₂ O	0,82	0,31	0,37	—	1,00	—	0,57	—	0,01	—	0,00	0,10
P ₂ O ₅	—	0,09	0,08	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	—	0,18	0,46	0,1	0,16	—	—	—	6,23	—	—	—
H ₂ O ⁺	—	—	—	0,39	0,50	—	0,08	—	0,01	—	—	—
Н.п.п.	2,85	0,00	1,54	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Σ	100,04	100,95	100,06	100,48	106,27	99,67	100,55	100,05	100,29	100,15	100,31	99,83

* Содержание — везде в процентах. Гр — гранат, Пи — пироксен.

образует идиоморфные кристаллы размером до 0,3—0,5 мм. По показателю преломления и рентгеноструктурному анализу новообразованный гранат относится к пироп-альмандиновому ряду и сходен с гранатом исходной породы. В опытах при 13 кбар гранат не образуется. При давлении 20—30 кбар плавление породы происходит при температурах 1150—1250° соответственно. Пироксен-гранатовая ассоциация минералов является основной равновесной ассоциацией при этих давлениях.

Таким образом, устойчивая ассоциация минералов эклогитового типа в изученном интервале давлений и температур ограничивается нижним барическим пределом в 15 кбар и температурным интервалом 750—1250°. Границы устойчивости эклогитов смещаются в более высокотемпературную область при проведении опытов в «сухих» условиях на 100—150°. Эти результаты близко совпадают с результатами экспериментальных работ ряда исследователей, установивших, что при плавлении пород базальтоидного ряда, в зависимости от их состава, эклогиты устойчивы при давлениях выше 20—21 кбар. При меньших давлениях могут образоваться минеральные ассоциации типа пироксенитов, а при частичном плавлении базальтоидная магма может разделиться на жидкую фазу, отвечающую по составу оливиновому толеиту, и на твердую фазу анортозитового состава (10, 11). Гранатовые перидотиты устойчивы в земной коре при давлении по крайней мере 12 кбар (12).

Как геологические данные, так и результаты экспериментов не оставляют сомнения в том, что докембрийские эклогиты Мугоджар являются

примером типичных интрузивных образований глубинного происхождения. Тесная связь эклогитов с ультрабазами свидетельствует о том, что весь комплекс пород Китарсайских массивов произошел из единого магматического очага в условиях изменчивых термодинамических режимов. Очевидно, на первом этапе кристаллизации сформировались породы типа дунитов, перидотитов, пироксенитов. По мере остывания остаточного расплава и падения давления и температуры произошла дальнейшая дифференциация расплава с выделением более кислых дериватов — эклогитов, габброидов. Расплав внедрялся в верхние горизонты земной коры, очевидно, в полужидком состоянии. На это указывают шлировое, неравномерное распределение различных пород Китарсайских интрузий, постепенные переходы между петрографическими разновидностями, гетерогенность кристаллов, наличие бескорневых интрузий, отсутствие четко выраженных контактовых воздействий с породами вмещающего комплекса и др. Почти весь процесс формирования рассматриваемых интрузий проходил в условиях давлений и температур, превышающих таковые при метаморфизме даже самых высоких ступеней. Это создавало благоприятную обстановку для образования и роста наряду с породообразующими минералами также и кристаллов алмаза. Одним из основных условий для реализации этого процесса являлось обязательное насыщение расплава свободным углеродом. Поступление его в магму следует связывать либо с ювенильной углекислотой, либо с углеводородами и графитами вмещающих докембрийских отложений.

В предыдущие годы нами было показано, что по отношению к теоретической линии равновесия графит — алмаз область совместного образования ассоциации минералов интрузивных эклогитов и алмаза совпадает при давлениях выше 30 кбар и температурах 1200—1700°⁽⁵⁾. Промышленный синтез алмаза базируется на выращивании кристаллов в различных металлах при давлении в 40 кбар и выше. Известны экспериментальные работы по получению алмазов на силикатной основе при давлении в 30 кбар. Описаны способы получения эпитаксиальных пленок и нитевидных кристаллов алмаза в вакууме, а также в атмосферных условиях^(13, 14). Последнее свидетельствует о принципиальной возможности образования алмазов при относительно низких значениях давлений и температур. Известно, что специфика условий роста кристаллов алмаза отражается на типоморфных их особенностях. Высокие температуры кристаллизации обуславливают образование кристаллов октаэдрической и кубооктаэдрической формы, относительно низкие способствуют росту кристаллов преимущественно в виде кубов⁽¹⁵⁾.

Возвращаясь к характеристике кристаллов алмаза докембрийских провинций, следует отметить, что по ряду физических свойств (чистоте, крупности, красоте оттенков, количеству включений) они превосходят по качеству алмазы коренных кимберлитовых месторождений. Достаточно сказать, что почти все известные «именные» кристаллы были добыты из докембрийских отложений. Вполне вероятно, что отмечаемое повышенное содержание в древних россыях кристаллов алмаза кубической формы связано с относительно низкими температурами их кристаллизации.

Прецизионное изучение включений в кристаллах алмаза, проведенное Н. В. Соболевым с сотрудниками⁽¹⁶⁾, показало, что уральские алмазы наряду с хромшпинелидом, энстатитом, содержат также гранат и пироксен-омфациит, т. е. ассоциацию минералов эклогитового типа. Химический состав граната и пироксена (см. табл. 1) весьма близок к составу подобных минералов интрузивных эклогитов Мугоджар, Марун-Кеу, Шотландии и др.

Основываясь на материалах приведенных выше экспериментов и на геолого-петрографических данных, можно сделать заключение, что наиболее перспективными для поисков коренных месторождений алмазов являются интрузивные эклогиты и дифференцированные интрузии ультра-

основного ряда, прошедшие сложную эволюцию становления в условиях значительных и, возможно, неоднократных смен термодинамических режимов. Развитие этих интрузий происходило в древних зонах активных тектонических подвижек и возникающих в связи с этим повышенных значений давлений и температур.

Эклогиты и гранатовые перидотиты — типично барофильные породы, несущие в себе информацию о сложной истории их формирования. Они являются, таким образом, своеобразными индикаторами, позволяющими делать первую поисковую ориентацию с целью выделения перспективных алмазонасных интрузий.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт синтеза минерального сырья
г. Александров

Поступило
25 V 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Кухаренко, Алмазы Урала, 1955. ² В. С. Трофимов, Закономерности размещения и образования алмазных месторождений, М., 1967. ³ М. П. Метелкина и др., Изв. АН СССР, сер. геол., № 8 (1971). ⁴ О. М. Розен, Ю. М. Зорин, А. А. Заячковский, ДАН, 203, № 3 (1972). ⁵ С. С. Горохов и др., Матер. IV Всесоюз. петрографич. совещ., Баку, 1969. ⁶ А. П. Бобриневич, Г. И. Смирнов, В. С. Соболев, ДАН, 126, № 3 (1959). ⁷ И. Е. Медведева, Эклогиты, ВИНТИ, Итоги науки. Геохимия, минералогия, петрография, М., 1965. ⁸ Н. Г. Удовкина, Эклогиты Полярного Урала, «Наука», 1971. ⁹ И. А. Ефимов, Г. И. Бурд, Сов. геол., № 11 (1970). ¹⁰ А. Э. Рингвуд, Д. Х. Грин, Петрология верхней мантии, М., 1968. ¹¹ Н. И. Хитаров и др., Эволюция толеитовых магм в глубинных условиях. Международн. геохим. конгр., 1971. ¹² M. J. O'Hara, S. W. Richardson, G. Wilson, Contrib. Mineral. and Petrol., 32, № 1, 48 (1971). ¹³ Я. А. Калашников, ДАН, 182, № 2 (1968). ¹⁴ Б. В. Дерягин, Д. В. Федосеев и др., ДАН, 181, № 5 (1968). ¹⁵ Г. Н. Безруков, В. П. Бутузов, С. С. Горохов, ДАН, 193, № 3 (1970). ¹⁶ Н. В. Соболев и др., ДАН, 198, № 1 (1971).