

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СУЛЬФИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ*(по экспериментальным данным)***А.И. Чепуров, И.И. Федоров, В.М. Сонин, А.М. Логвинова, А.А. Чепуров****Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия***ООО «Новогема», 630058, Новосибирск, ул. Русская, 41, Россия*

Проведено экспериментальное изучение влияния высокой температуры на сульфидные включения в алмазах. Эксперименты проводили на многопуансонном аппарате высокого давления «БАРС» в твердофазовой ячейке, изготовленной из тугоплавких оксидов, при давлении 5.0 ГПа в температурном диапазоне 1000—1600 °С. В опытах использовали природные кристаллы алмаза из кимберлитовых трубок Якутии, содержащие включения сульфидов.

Установлено, что в интервале температур 1350—1450 °С происходило осветление «розеток» трещинок вокруг включений сульфидов. Но изменений в расположении самих включений в кристаллах алмаза не зафиксировано. Явление осветления «розеток» обусловлено, по-видимому, плавлением и консолидацией рассеянного сульфида, приводящих к очищению от него трещин. При более высокой температуре (1600 °С) наблюдалось почернение включений, что обусловлено графитизацией алмаза.

Алмаз, включения сульфидов, высокие температуры и давления.

THE THERMAL EFFECT ON SULFIDE INCLUSIONS IN DIAMONDS*(from experimental data)***A.I. Chepurov, I.I. Fedorov, V.M. Sonin, A.M. Logvinova, and A.A. Chepurov**

Experimental study of the high-temperature effect on sulfide inclusions in diamonds was performed. The object of study was natural sulfide-bearing diamond crystals from Yakutian kimberlite pipes. The experiments were carried out on a BARS high-pressure gang equipment with a solid-phase refractory-oxide cell at 5.0 GPa and 1000–1600°C. They showed that in the temperature range of 1350–1450°C, “clarification” of crack rosettes around sulfide inclusions took place, but the arrangement of inclusions in diamond crystals did not change. The “clarification” seems to be due to the melting and consolidation of disseminated sulfide resulting in its removal from the cracks. At 1600°C, the inclusions turned black as a result of diamond graphitization.

Diamond, sulfide inclusions, high temperatures and pressures

ВВЕДЕНИЕ

Результаты исследования первичных включений в природных алмазах являются основным источником информации о среде образования алмазов. Однако после образования большинство алмазов длительное время находилось в мантии Земли до выноса их к поверхности кимберлитовыми и лампроитовыми расплавами [Richardson et al., 1984; Haggerty, 1986; Shirey et al., 2003]. Поэтому необходимы исследования, свидетельствующие о неизменности включений в посткристаллизационный период или же показывающие возможные их изменения, которые необходимо учитывать при реконструкции условий генезиса алмазов.

Ранее нами было экспериментально установлено, что при воздействии высоких *PT*-параметров металлические включения в алмазах переограняются, изменяют свою форму и перемещаются в направлении температурного градиента путем перекристаллизации алмазного вещества, что может приводить к очищению алмазов от металлических включений [Chepurov et al., 2000; Федоров и др., 2005]. В отличие от металлических включений, силикатные включения в алмазах не изменялись при воздействии высоких *PT*-параметров, что позволяет предполагать неизменность силикатных включений в алмазах в посткристаллизационный период их генезиса [Федоров и др., 2006].

Еще одним типом включений в алмазах, имеющим большое генетическое значение, являются сульфидные включения. Со времени обнаружения сульфидных включений [Sharp, 1966] накоплен значительный материал, показывающий их большое распространение в природных алмазах [Ефимова и др., 1983; Соболев и др., 1984; Буланова и др., 1990; Deines, Harris, 1995; Соболев и др., 2001; Taylor et al., 2003]. Причем сульфидные выделения могут находиться в алмазах не только в виде отдельных включений, но и совместно с карбонатно-силикатным материалом в так называемых флюидных включениях [Klein-BenDavid et al., 2003].

Целью данной работы являлось экспериментальное моделирование поведения сульфидных включений в алмазах при воздействии высоких температур и давлений в мантии Земли в посткристаллизационный период. Следует отметить, что давление в экспериментах воздействует на кристаллы алмаза, а не на включения. Включения как бы экранируются от внешнего воздействия алмазной матрицей. Высокие давления необходимы для предотвращения или уменьшения графитизации алмазов в опытах. Поэтому в данной работе решалась задача экспериментального изучения влияния температуры на сульфидные включения в алмазах при высоком давлении.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперименты по воздействию высоких *PT*-параметров на кристаллы алмаза проводили на многопуансонном аппарате высокого давления «БАРС» [Чепуров и др., 1997] в твердофазовой ячейке, изготовленной из тугоплавких оксидов (ZrO₂, MgO, CaO). Конструктивная схема ячейки высокого давления приведена в работе [Cherupov et al., 2000]. Алмазы запрессовывали в порошок MgO и помещали в ячейку. В конце опыта отключали электроток и ячейка охлаждалась в течение нескольких секунд до комнатной температуры. Затем сбрасывали давление в системе, разбирали аппарат и ячейку, извлекали алмазы. В необходимых случаях алмазы очищали от пленки графита в смеси 10%-го раствора K₂Cr₂O₇ и концентрированной H₂SO₄ в соотношении 1:3.

В опытах использовали природные кристаллы алмаза из кимберлитовых трубок Якутии, содержащие включения сульфидов (табл. 1), которые достаточно надежно фиксируются под микроскопом по наличию вокруг них характерных «розеток» из трещинок, заполненных темным материалом [Соболев и др., 2001].

Кристаллы алмаза подвергали однократному или многократному (последовательному) воздействию высоких температур и давлений с изучением кристаллов после опытов под микроскопом МБИ-15. Затем алмазы шлифовали до выведения включения сульфидов на единую поверхность с алмазом-матрицей,

Таблица 1. **Использованные в опытах кристаллы природного алмаза с включениями сульфидов**

Номер	Масса, мг	Образец кристалла
		Описание
Int-1	4.14	Бесцветный прозрачный октаэдр. На месте ребер округлые поверхности с гранным швом. На гранях присутствуют тригоны. В центре кристалла имеется крупная (0.5 мм по удлинению) «розетка» пластинчатых черных включений
Kms-138	11.98	Бесцветный прозрачный октаэдр с рельефными гранями, осложненными дитригональными слоями и тригонами. Внутри кристалла три пластинчатых включения черного цвета типа «розеток»
Kms-260	8.88	Уплотненный по тройной оси симметрии бесцветный прозрачный октаэдр с тригональными слоями и тригонами. Внутри кристалла три включения. Два включения — «черные розетки», в центре которых, в свою очередь, различимые включения серого цвета с металлическим блеском. Третье включение имеет металлический блеск и серый цвет, без «розетки»
Im-29	3.20	Бесцветный, прозрачный октаэдр с плоскими гранями, осложненными тригональной штриховкой и тригонами. В кристалле имеется крупная черная «розетка», в центре которой просматривается серое включение с металлическим блеском. Серое включение округлое, но частично огранено октаэдрическими плоскостями
Kms-94	2.94	Бесцветный прозрачный выколоч по спайности из грубо скульптированного октаэдра с тригональными пластинами. Внутри кристалла две «розетки» темно-серого цвета

Таблица 2. **Условия и результаты опытов по воздействию высокой температуры при давлении 5.0 ГПа на кристаллы алмаза с включениями сульфидов**

Номер обр.	T, °C	t, ч	Изменения включений в кристаллах
Int-1	1350	1	На месте «розетки» проявились несколько октаэдрических включений серого цвета с металлическим блеском, вокруг которых присутствует система трещин, не выходящих на грани кристалла. Черное вещество, заполнявшее трещины в процессе опыта частично исчезло. Трещины обесцветились.
Kms-138	1000	3	Включения не изменились
Kms-260	1000	3	То же
Kms-138	1450	1	Произошло незначительное осветление «розеток» вокруг включений
Kms-260	1450	1	Произошло осветление «розеток» вокруг двух серых включений с металлическим блеском. Включение без «розетки» потемнело, вокруг него образовалась система мелких трещин
Im-29	1450	1	Произошло осветление «розетки» вокруг серого включения с металлическим блеском, которая стала более прозрачной, но неравномерной по цвету. Хорошо просматривается октаэдрическая огранка включения
Im-29	1450	1	На поверхности алмаза образовался графит, после удаления которого обнаружена матированная поверхность, что ухудшило просмотр объема кристалла. Заметных дополнительных изменений включений после повторного опыта не произошло
Int-1	1450	1	На поверхности кристалла образовалось небольшое количество графита, после удаления которого поверхность кристалла стала несколько матированной. Заметных дополнительных изменений включений после повторного опыта не произошло
Kms-94	1600	1	Кристалл полностью покрылся «корочкой» графита, после удаления которой он оказался сильно матированной и в значительной степени потерял прозрачность. Размер «розеток» увеличился
Im-29	1600	1	Кристалл полностью покрылся «корочкой» графита, после удаления которой он оказался сильно матированной и в значительной степени потерял прозрачность. Исчезла осветленная область вокруг включения с металлическим блеском, которая появилась в предыдущих опытах
Int-1	1600	1	Кристалл полностью покрылся «корочкой» графита, после удаления которой он оказался сильно матированной и в значительной степени потерял прозрачность. Заметных дополнительных изменений включений после повторных опытов не произошло

монтировали в шашку с эпоксидной смолой и полировали тонкими алмазными пастами. На сканирующем микроскопе LEO-1430 VP с энергодисперсионным рентгеновским спектрометром в каждом зерне фиксировали распределение основных элементов по площади всего включения. Затем на рентгеновском анализаторе с электронным зондом Camebax-Micro определяли состав сульфидных включений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Условия опытов и результаты оптического изучения включений приведены в табл. 2 и на фотографиях (см. рис. 1, 2). Все опыты проведены при давлении 5 ГПа. При температуре 1000 °С изменений включений не наблюдалось. При более высоких температурах (1350—1450 °С) микротрещинки в виде «розеток» осветлялись, а огранка расположенных в центре «розеток» включений с металлическим блеском становилась иногда более отчетливой (см. рис. 1, 2). При повторном нагревании этих кристаллов до температуры 1450 °С заметных дополнительных изменений во включениях не происходило.

В опытах при температуре 1600 °С алмазы покрылись «корочкой» графита, после удаления которой в окислительной смеси, грани кристаллов оказались матированными, что затрудняло микроскопическое изучение находящихся в них включений. В кристалле Im-29 исчезла осветленная область вокруг центрального включения, появившаяся после опыта при 1450 °С. В кристалле Kms-94 «розетки» увеличились, а в кристалле Int-1 не произошло существенного дополнительного изменения включения после повторного нагревания при более высокой температуре.

Химический состав трех включений приведен в табл. 3. Два включения при шлифовании были утеряны, поэтому определить их химический состав не удалось. Присутствие NiO (около 22 мас.%) в составе сульфида-включения в кристалле Im-29 свидетельствует о наличии пентландитового компонента, что позволяет отнести этот образец к ультраосновному типу. В алмазах Kms-138 и Kms-260 сульфиды представлены только пирротинном, что относит их к эклогитовому типу. Изученные включения являются одними из наиболее распространенных в природных алмазах включений железоникелевых сульфидов, окруженных «розеткой» дисковидных трещин, заполненных мелкозернистым сульфидом [Ефимова и др., 1983; Буланова и др., 1990].

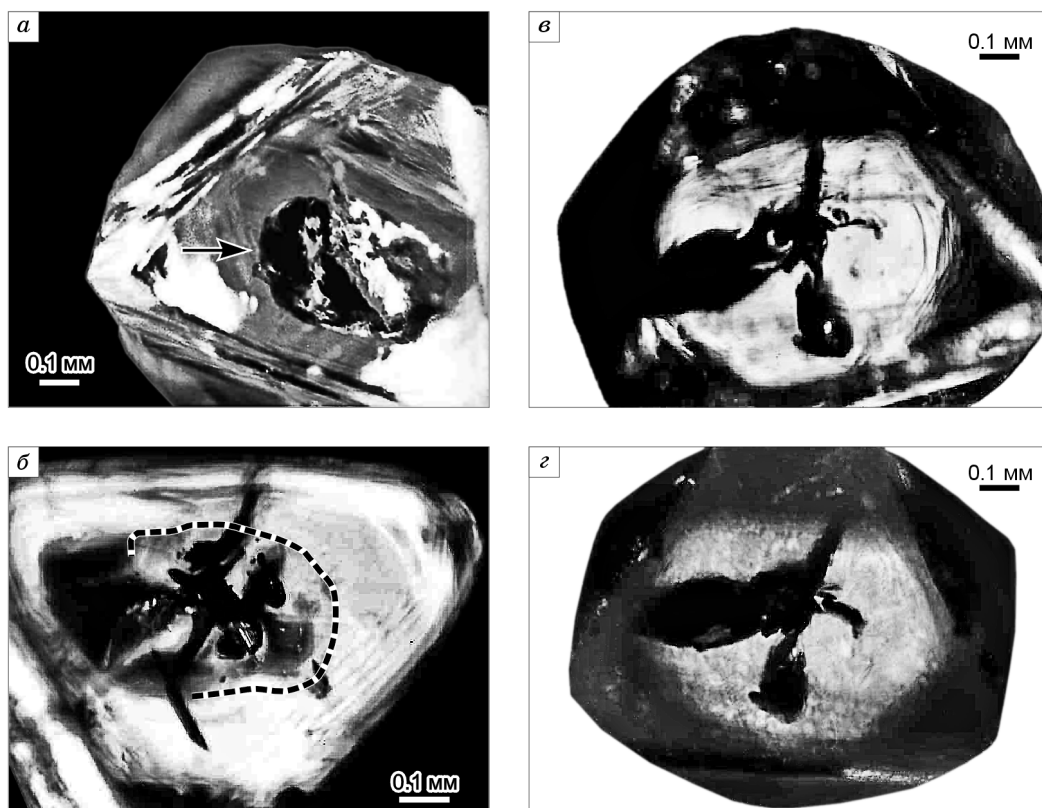


Рис. 1. Включение сульфида в кристалле Int-1.

a — до опытов (включение показано стрелкой); *б, в, з* — после высокотемпературного воздействия: *б* — 5.0 ГПа, 1300 °С, 1 ч (контуром показаны исходные границы включения); *в* — 5.0 ГПа, 1300 °С, 1 ч + 5.0 ГПа, 1450 °С, 1 ч; *з* — 5.0 ГПа, 1300 °С, 1 ч + 5.0 ГПа, 1450 °С, 1 ч + 5.0 ГПа, 1600 °С, 1 ч.

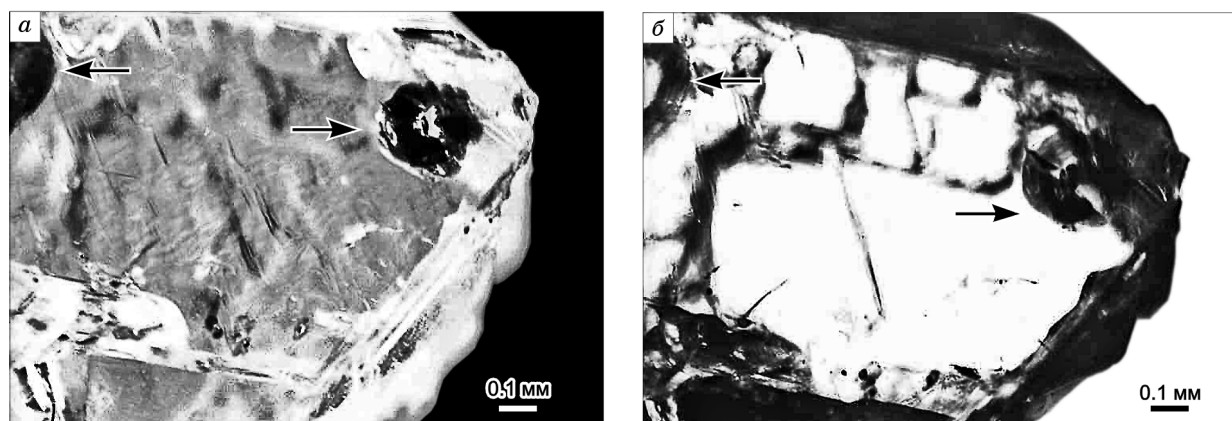


Рис. 2. Включения сульфида (показаны стрелками) в кристалле Kms-260.

a — до опытов; *б* — после высокотемпературного воздействия при 5.0 ГПа, 1000 °С, 3 ч + 5.0 ГПа, 1450 °С, 1 ч.

Ранее установлено, что темный материал, выполняющий трещинки вокруг включений сульфидов в природных алмазах, имеет тот же состав, что и сами включения [Harris, 1972; Ефимова и др., 1983]. Поэтому явление осветления «розеток» обусловлено, по-видимому, плавлением и консолидацией рассеянного сульфида, приводящих к очищению от него трещин. Следует отметить, что повторного заполнения трещин сульфидом при охлаждении под давлением кристаллов в конце опытов не происходило. В то же время у одного из включений, вокруг которого первоначально не было темной «розетки», она появилась после опыта.

При нормальном давлении моносульфид $\text{Fe}_{0.96}\text{S}$ плавится в интервале 1180—1184 °С, а $\text{Ni}_{0.96}\text{S}$ — в интервале 960—990 °С [Синякова и др., 1998]. Плавление твердых растворов в данной системе происходит соответственно при промежуточных значениях температуры. При 1000 °С поверхность ликвидуса в системе Fe—Ni—C [Craig, Kullerud, 1969] частично перекрывает область химических составов сульфидных включений в природных алмазах [Буланова и др., 1993].

При давлении 5.0 ГПа температура плавления пирротина определена В. Шарпом в 1500 °С [Sharp, 1969]. Но, по данным Р. Белера [Boehler, 1992], температура плавления должна быть на 100 °С меньше, что находится в соответствии с более поздними результатами. Так, Ю.А. Литвин с соавторами [Литвин и др., 2005] установили, что плавление пирротина при 7.0 ГПа происходит при температуре 1530 °С. В исследовании Ю.Н. Пальянова с соавторами [Palyanov et al., 2006] зафиксировано существование расплава пирротина при 6.3 ГПа и 1500 °С.

По системе Fe—Ni—C при высоком давлении имеются только косвенные данные: из результатов экспериментов по синтезу и наращиванию алмаза на затравки. Так, в работе [Чепуров, 1988] указывается, что при 5.5 ГПа и 1350 °С сульфид, соответствующий по составу пентландиту, находился в расплавленном состоянии. В исследовании [Литвин и др., 2002] осуществлен синтез алмаза и, следовательно, достигнуто плавление сульфидных систем, в частности смесей (1:1 по массе) халькопирита и пентландита, халькопирита и пирротина при давлении 6.0—8.0 ГПа и температуре 1450 °С, что соответствует данным по плавлению пентландита, полученным в работе [Palyanov et al., 2006]. Если диаграмма FeS—NiS при высоком давлении сохраняет свой тип аналогичным нормальному давлению [Синякова и др., 1998], то температура плавления пентландита при 5.0 ГПа должна быть ниже температуры плавления пирротина, по крайней мере, на 150 °С, т. е. составлять около 1250 °С.

Таким образом, при параметрах опытов в интервале температур 1350—1450 °С сульфиды во включениях находились в расплавленном состоянии. Именно поэтому происходило осветление «розеток» трещинок вокруг включений. Но изменение положения самих включений в кристаллах алмаза не зафик-

Таблица 3. Химический состав сульфидных включений в алмазах после опытов

Номер образца	Содержание компонентов, мас. %						Состав
	Ni	Co	Cu	Fe	S	Σ	
Im-29	22.1	0.48	0.82	37.6	35.4	96.4	$\text{Fe}_{0.61}\text{Ni}_{0.34}\text{Cu}_{0.01}\text{Co}_{0.01}\text{S}$
Kms-138	2.64	0.26	1.54	55.4	37.7	97.54	$\text{Fe}_{0.85}\text{Ni}_{0.04}\text{Cu}_{0.02}\text{Co}_{0.004}\text{S}$
Kms-260	1.02	0.25	1.75	56.3	39.7	99.02	$\text{Fe}_{0.82}\text{Ni}_{0.02}\text{Cu}_{0.02}\text{Co}_{0.003}\text{S}$

сировано (см. рис. 2). По-видимому, это связано с меньшим взаимодействием сульфидного расплава с алмазом [Чепуров, 1988; Palyanov et al., 2006] по сравнению с металл-углеродными системами.

Существуют разные представления о причинах образования дисковидных трещин («розеток») вокруг сульфидных включений в алмазах. Г.П. Буланова с соавторами [1990] предполагали, что «розетки» образовались вследствие существенного подъема температуры относительно той, при которой сульфиды были захвачены. При этом сульфиды частично возгонялись, в результате чего в содержащих сульфидные включения алмазах резко возрастало внутреннее давление, которое разрешалось «розетками» темных дисковидных трещин.

Другие исследователи [Harris, 1972; Ефимова и др., 1983] считали, что образование «розеток» происходило на посткристаллизационном этапе выноса алмазов на земную поверхность. В результате падения внешнего давления, но при сохранении высокой температуры в жидких включениях внутри кристаллов алмаза могло происходить растрескивание алмаза по плоскостям спайности вокруг включений, заполненных расплавленным или частично раскристаллизованным сульфидным расплавом. Последний внедрялся в образовавшиеся трещины, формируя «розетки».

Полученные нами данные подтверждают представления [Harris, 1972; Ефимова и др., 1983] об образовании «розеток» вокруг сульфидных включений в природных алмазах на этапе выноса, сопровождающемся падением давления при достаточно высокой температуре. Причем присутствие сульфидных «розеток» свидетельствует также о том, что впоследствии эти образцы не подвергались повторному разогреву до температур плавления сульфидов. Следует отметить, что образование подобных «розеток» невозможно для других по составу включений (силикаты, оксиды), которые после захвата их алмазами находились в твердом состоянии.

Наблюдавшееся почернение включений в опытах, проведенных при более высокой температуре (1600 °С) обусловлено графитизацией алмаза, которая происходила в первую очередь по поверхности кристаллов алмаза и в дефектных зонах вблизи включений. Поэтому нельзя исключать появление графита вокруг включений в алмазах вследствие частичной графитизации. В частности, подобные проявления графита были обнаружены вокруг включений (не только сульфидных) в природных алмазах [Harris, 1972]. Но, по-видимому, этот процесс происходит при более высоких температурах относительно внедрения сульфидного расплава в «розетки» трещинок, окружающих сульфидные включения.

ВЫВОДЫ

«Розетки» трещинок вокруг сульфидных включений в алмазах освещаются при нагревании их под давлением до температуры выше температуры плавления сульфидов. Это обусловлено, по-видимому, консолидацией материала включений и очищением от него «розеток» трещинок. Присутствие темных «розеток» трещинок вокруг сульфидных включений в природных алмазах свидетельствует о том, что алмазы не подвергались после их кристаллизации повторному разогреву до температур плавления сульфидов.

Сульфидные включения изученных составов (пирротинового и пентландитового) не меняли своего положения в кристаллах алмаза при их нагревании. Поэтому можно предположить, что, в отличие от металлических включений, захваченные сульфидные включения сохранялись в природных алмазах при их нахождении в мантии Земли в посткристаллизационный период.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 05-05-65042).

ЛИТЕРАТУРА

Буланова Г.П., Специус З.В., Лескова Н.В. Сульфиды в алмазах и ксенолитах из кимберлитовых трубок Якутии. Новосибирск, Наука, 1990, 120 с.

Буланова Г.П., Барашков Ю.П., Тальникова С.Б., Смелова Г.Б. Природный алмаз — генетические аспекты. Новосибирск, Наука, 1993, 168 с.

Ефимова Э.С., Соболев Н.В., Поспелова Л.Н. Включения сульфидов в алмазах и особенности их парагенезиса // Зап. ВМО, 1983, вып. 3, с. 300—310.

Литвин Ю.А., Бутвина В.Г., Бобров А.В., Жариков В.А. Первые синтезы алмаза в сульфид-углеродных системах: роль сульфидов в генезисе алмаза // Докл. АН, 2002, т. 382 (1), с. 106—115.

Литвин Ю.А., Шушканова А.В., Жариков В.А. Несмесимость сульфид-силикатных расплавов мантии: роль в сингенезисе алмаза и включений (опыты при 7.0 ГПа) // Докл. РАН, 2005, т. 402 (5), с. 656—660.

Синякова Е.Ф., Косяков В.И., Шестаков В.А. Фазовая диаграмма разреза $Fe_{0.96}S-Ni_{0.96}S$ системы $Fe-Ni-S$ // Неорганические материалы, 1998, т. 34 (5), с. 538—540.

Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Поспелова Л.Н. Самородное железо в алмазах Якутии и его парагенезис // Геология и геофизика, 1981 (12), с. 25—28.

Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Логвинова А.М., Суходольская О.В., Солодова Ю.П. Распространенность и состав минеральных включений в крупных алмазах Якутии // Докл. АН, 2001, т. 376 (3), с. 382—386.

Федоров И.И., Чепуров А.И., Чепуров А.А., Куроедов А.В. Оценка скорости «самоочищения» алмазов от металлических включений в мантии Земли в посткристаллизационный период // Геохимия, 2005, (12), с. 1340—1344.

Федоров И.И., Чепуров А.И., Сонин В.М., Жимулев Е.И. Экспериментальное изучение высокобаротермического воздействия на силикатные и оксидные включения в алмазах // Геохимия, 2006, (10), с. 1132—1136.

Чепуров А.И. О роли сульфидного расплава в процессе природного алмазообразования // Геология и геофизика, 1988, т. 29 (8), с. 119—124.

Чепуров А.И., Федоров И.И., Сонин В.М. Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования. Новосибирск, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1997, 196 с.

Boehler R. Melting of the Fe—FeO and the Fe—FeS systems at high pressure: constraints on core temperatures // Earth Planet. Sci. Lett, 1992, v. 111, p. 217—227.

Chepurov A.A., Dereppe J.M., Fedorov I.I., Chepurov A.I. The change of Fe-Ni alloy inclusions in synthetic diamond crystals due to annealing // Diamond Relat. Mater., 2000, v. 9 (7), p. 1374—1379.

Craig I.R., Kullerud G. Phase relations in the Cu—Fe—Ni—S system and their application to magmatic ore deposits // Econ. Geol. Monograph, 1969, (4), p. 344—358.

Deines P., Harris J.W. Sulfide inclusion chemistry and carbon isotopes of African diamonds // Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, v. 59, p. 3173—3188.

Haggerty S.E. Diamond genesis in a multiply-constrained model // Nature, 1986, v. 320 (6057), p. 34—38.

Harris J.W. Black material on mineral inclusions and in internal fracture planes in diamond // Contr. Miner. Petrol., 1972, v. 35, p. 22—33.

Klein-BenDavid O., Logvinova A.M., Izraeli E.S., Sobolev N.V., Navon O. Sulfide melt inclusions in Yubileynaya (Yakutia) diamonds // VIII Intern. Kimberlite Conf. Extended Abstract, FLA-0111, Victoria: Univ. Victoria, Canada, 2003.

Palyanov Yu.N., Borzdov Yu.M., Khokhryakov A.F., Kupriyanov I.N., Sobolev N.V. Sulfide melts-graphite interaction of HPHT conditions: implication for diamond genesis // Earth Planet. Sci. Lett, 2006, v. 250 (1—2), p. 269—280.

Richardson S.H., Gurney J.J., Erlank A.J., Harris J.W. Origin of diamonds in old enriched mantle // Nature, 1984, v. 310 (5974), p. 198—202.

Sharp W.E. Pyrrhotite: a common inclusion in the South African diamonds // Nature, 1966, v. 211 (5047), p. 402—403.

Sharp W.E. Melting curves of sphalerite, galena, and pyrrhotite and decomposition curve of pyrite between 30 and 65 kb // J. Geophys. Res, 1969, v. 74, p. 1645—1652.

Shirey S.B., Harris J.W., Richardson S.H., Fouch M., James D.E., Cartigny P., Deines P., Viljoen F. Regional patterns in the paragenesis and age of inclusions in diamond, diamond composition, and the lithospheric seismic structure of Southern Africa // Lithos, 2003, v. 71 (2—4), p. 243—258.

Taylor L.A., Anand M., Promprated P., Floss C., Sobolev N.V. The significance of mineral inclusions in large diamonds from Yakutia, Russia // Amer. Miner., 2003, v. 88, p. 912—920.

*Рекомендована к печати 16 ноября 2007 г.
Н.В. Соболевым*

*Поступила в редакцию 15 июня 2007 г.,
после доработки — 14 ноября 2007 г.*