

## Новые данные о сингенетичности пластически деформированных кристаллов алмаза жильного типа и ламинарных октаэдров из россыпей Якутской алмазоносной провинции

А.Д.ПАВЛУШИН, А.П.СМЕЛОВ, Д.ВИГГЕРС ДЕ ВРИС, Г.П.БУЛАНОВА, Г.ДЭВИС

В последние годы в геологической литературе широко дискутируется вопрос о природе коренных источников россыпей алмазов, распространенных на севере Якутской алмазоносной провинции, Северном и Среднем Урале, в Бразилии, Северной Америке, Индонезии, Австралии и других районах [1, 4, 8, 9, 14, 15, 27 и др.]. Объект пристального внимания российских геологов — Лено-Анабарская алмазоносная субпровинция и, в частности, Анабарский алмазоносный район (см. рис. 1, статья С.А.Граханова, с. 21 в данном номере журнала). Именно для этой территории характерно широкое проявление промышленной россыпной алмазоносности при практически полном отсутствии кимберлитовых трубок. По усредненным данным алмазы Анабарского района представлены следующими кристалломорфологическими разновидностями (в %) по классификации Ю.Л.Орлова [18]: I — 31, II — 2, V — 31, VII — 35 и XI — около 1 [11]. Существуют разные мнения о типе коренных источников, из которых они поступили в россыпи. Предположительно это кимберлиты [1, 13, 14, 21], лампроиты, пикриты [7, 16], туффзиты, аллиты [14].

По типоморфным особенностям доминирующая часть алмазов из россыпей Лено-Анабарской субпровинции отличается от алмазов из известных промышленных месторождений Якутии и кимберлитов субпровинции [12, 13]. Так, алмазы V и VII разновидностей, представляющих одну генетически обособленную группу [2], были найдены в щелочно-ультраосновных породах [5], что требует дополнительного подтверждения, а алмазы XI разновидности широко распространены и характерны для Попигайской астроблемы [9] и в то же время нельзя отрицать возможности существования кимберлитовых трубок типа Ломоносовской (Архангельская алмазоносная провинция) с комплексом алмазов I разновидности, близких по типоморфным признакам к таковым из россыпных месторождений Анабарского района [13].

В целом генетические построения, объясняющие возможную природу коренных источников, базирующиеся на внешних кристалломорфологических признаках алмазов и аналогиях с известными месторождениями. Однако без детального изучения внутреннего строения кристаллов различных разновидностей и условий их роста этот вопрос вряд ли будет решен [3]. Данная статья посвящена результатам изучения внутреннего строения и изотопного состава углерода кристаллов I разновидности из россыпи р.Эбелях, которые по своим качественным характеристикам представляют наибольший интерес для промышленной добычи.

Кристаллы алмаза I разновидности образуют обширную группу, в которую входят три морфологических типа алмазов, встречающихся в россыпях р.Эбелях: 1) ламинарные кристаллы октаэдрического и додекаэдрического га-

битусов, а также переходных между ними форм (алмазы типичные для кимберлитов); 2) округлые додекаэдрические кристаллы со следами растворения, объединенные по типоморфным особенностям в группу алмазов «уральского» («бразильского») типа (неизвестный источник); 3) округлые додекаэдровиды с желтовато-бурым, коричневым, розово-бурым и фиолетовым нацветом с шагренью и полосами пластической деформации на поверхности кристаллов в виде штриховки, состоящей из субпараллельных рубцов и параллельных им трещин и сколов, выделенные В.П.Афанасьевым с соавторами [2] в группу алмазов «жильного» типа. Такие кристаллы составляют значительную часть алмазов не только в россыпях р.Эбелях, но и доминируют в кимберлитовых жилах Фенария (Гвинея) и АН-21, кимберлитовых трубках Амакинская-Южная, встречаются в трубках Дьянга, Октябрьская и Сытыканская (Якутия). В трубках отмечена их связь с кимберлитовыми жилами ранних фаз внедрения [14].

**Методика исследования.** Из коллекции алмазов россыпи р.Эбелях авторы отобрали три образца (6048, 6087, 6110) наиболее представительных для изучения условий роста кристаллов. Внутренняя морфология и цвет фотолюминесценции целых кристаллов наблюдались в Институте геологии алмаза и благородных металлов (ИГАБМ СО РАН) с помощью оптического поляризационного микроскопа и ультрафиолетового осветителя с ртутной лампой и светофильтром с максимальной пропускной способностью 360 нм.

Еще с 60-х годов прошлого столетия в ИГАБМ СО РАН применяется методика [25] изучения внутреннего строения кристаллов алмаза *in situ* в плоскопараллельных полированных пластинках, выпиленных параллельно кристаллографическим плоскостям (001) и (011). В данном случае изготовлены полированные срезы в плоскости (011).

Картины катодолюминесценции, позволяющей обнаружить детальное внутреннее строение кристаллов алмаза, получены на сканирующем электронном микроскопе Phillips XL30CP в Институте наук о Земле Эдинбургского университета (Великобритания).

Изотопный состав углерода алмазов по профилям от ядра к периферийным зонам роста кристаллов был измерен там же на ионном микрозонде (SIMS). Процедура и точность измерений детально описаны ранее [26]. Точность измерений авторов  $^{13}\text{C}$  (2 ) составляла 0,4—0,6%.

**Морфология и катодолюминесценция кристаллов алмаза.** Все изученные авторами кристаллы имеют типоморфные признаки, отвечающие трем перечисленным основным типам алмазов I разновидности, известным в россыпях р.Эбелях (рис. 1).

*Кристалл 6048 (тип 1)* дымчато-серого цвета имеет форму переходную от тонкослоистого ламинарного окта-



**Рис. 1. Морфология кристаллов алмаза:**

А — ламинарный октаэдр, обр. 6048; Б — додекаэдр «уральского» типа, обр. 6087; В — пластически деформированный додекаэдр алмаза «жильного» типа, обр. 6110

эдра к додекаэдрю со ступенчатым строением граней (см. рис. 1, А) и вытянут по оси второго порядка. Следы механического износа на поверхности отсутствуют. Поскольку на кристалле нет признаков растворения, а зональность совпадает со скульптурой поверхности, то его форма по морфологическим признакам — следствие процесса роста. Фотолюминесценция алмаза однородная голубого цвета.

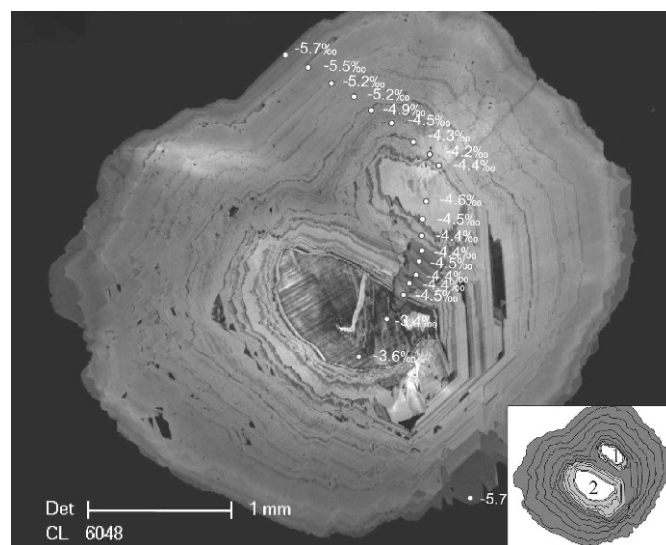
Особый интерес представляет сложное внутреннее строение кристалла и его онтогенетическая история роста, проявившиеся на картинах катодолуминесценции. Установлена тонкая тангенциальная зональность по октаэдру, переходящая к периферии в концентрическую. В кристалле наблюдаются два центра роста в виде ядер, разобщенных зональностью, соответственно ядра 1 и 2 (рис. 2). Ядро 1 представлено субиндивидом удлиненной округлой формы с признаками пластической деформации в виде пересекающихся систем параллельных полос. Поскольку полосы в ядре 1 параллельны последующей октаэдрической зональности кристалла, мы предполагаем эпитаксиальное нарастание последующих зон и доминирование такого центра роста (см. рис. 2). Ядро 2 при визуальном наблюдении имеет форму октаэдра, и, судя по оптическим напряжениям вокруг него в кристалле-хозяине, является включением алмаза без кристаллографической ориентировки, захваченным им. Последовательность и конфигурация концентрической зональности на ядрах кристалла, также позволяют сделать вывод о том, что более крупное ядро 1 образовалось значительно раньше ядра 2. Кроме того, по рисунку зональности видно, что захват ядра 2 сопровождался тангенциальным ростом граней октаэдра с элементами ступенчатой регенерационной зональности в несингулярных направлениях и во входящих углах между субиндивидами. Примечательно, что последующие зоны роста кристалла имеют зубчатые и закругленные очертания границ и ясно выраженных октаэдрических зон роста не наблюдается. Возможно, кристалл рос в неравновесных условиях в форме полицентрического октаэдра.

Таким образом, в кристалле 6048, по-видимому, существуют две генерации алмаза: ранняя представлена пластически деформированным центральным ядром 1 и более поздняя — зонами роста, соответствующими ламинарному октаэдру, и октаэдрическим ядром 2. Ядерные области по двум основным типоморфным признакам (округлая форма ядра 1 и наличие пластической деформации), близки алмазам «жильного» типа. Поскольку ядро 1 имеет

округлую форму, можно предположить, что данный индивид подвергся растворению в перерыве роста. Однако фактов, однозначно подтверждающих стадию растворения кристалла, не наблюдается.

*Образец 6087 (тип 2)* — бесцветный округлый кристалл со сферическими поверхностями псевдограней додекаэдрона, типичный представитель россыпных алмазов «уральского» типа (см. рис. 1, Б). Вершины кристалла на выходах осей третьего порядка соединены гранным швом вдоль короткой диагонали ромбододекаэдра. Микроморфология кристалла отражает процессы растворения, что подтверждается наличием обратноориентированных ямок тригональной формы на реликтовых гранях октаэдра {111}. Цвет фотолюминесценции однородный желтый. В алмазе обнаружено включение пирротина, что указывает на его эклогитовый парагенезис.

Кристалл имеет сложное внутреннее строение (рис. 3, А). На картине его катодолуминесценции зафиксированы



**Рис. 2. Внутреннее строение кристалла 6048 на картине катодолуминесценции:**

цифры — значения изотопного состава углерода  $^{13}\text{C}$ ; на врезке — зарисовка схемы последовательности роста зональности в кристалле: ядра (1, 2) — белое; зоны роста: на ядрах — светло-серое, заключительного этапа — темно-серое

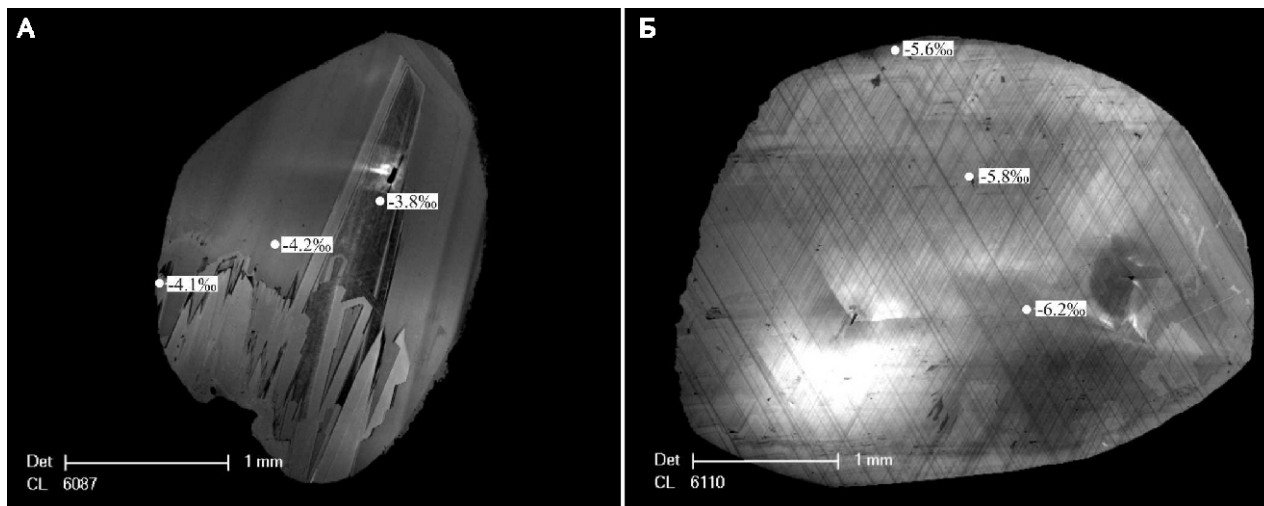


Рис. 3. Картины катодолуминесценции кристаллов:

А — обр. 6087, Б — обр. 6110; цифры — значения  $^{13}\text{C}$

взаимно проникающие зубчатые структуры, представленные отдельными мозаичными блоками субиндивидов. Визуально они похожи на пересечения зональности, наблюдающиеся при многоглавом росте индивида или при его расщеплении. На краю кристалла наблюдается фрагмент зональности в виде двух смежных плоскостей по октаэдру. При этом, как и в предыдущем случае, периферийные зоны пересекаются с поверхностью кристалла.

Кристалл 6110 (тип 3) светло-коричневого цвета по морфологическим признакам относится к группе кристаллов «жильного» типа (см. рис. 1, В). Он имеет форму искаженного округлого додекаэдроиды со следами незначительного механического износа на вершинах и ребрах. На его поверхности установлены полосы пластической деформации в виде пересекающихся систем параллельных штрихов, сопровождаемых трещинами вдоль плоскостей спайности по  $\{111\}$ . Фотолуминесценция кристалла равномерная голубого цвета. Идентифицированное в алмазе включение хромита указывает на его перидотитовый парагенетический тип.

На картине катодолуминесценции видно, что кристалл 6110 рассечен сетью параллельных трещин спайности на множество блоков. Это классическая картина пластически деформированного кристалла алмаза в сечении по плоскости (110) (см. рис. 3, Б). Зональность кристалла полностью скрыта нарушениями хрупкого сдвига, или отсутствовала в нем изначально. Лишь на периферии участками наблюдается сложное зональное строение с множеством прерывистых ступеней, параллельных плоскостям октаэдра. Зональность пересекается округлой поверхностью кристалла, что, очевидно, связано с более поздним его растворением.

**Изотопный состав углерода кристаллов алмаза.** Во всех исследованных образцах обнаружены колебания в изотопном составе  $^{13}\text{C}$  от 3,4 до 6,2‰, что позволяет их отнести к алмазам группы А, обогащенным изотопно тяжелым углеродом ( $^{13}\text{C}$  10,0‰) [11]. В данном случае изотопный состав углерода полностью соответствует характерному для алмазов I минералогической разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы, для которых установлен  $^{13}\text{C}$  от 2,0 до 7,1‰ [11].

Анализ двух относительно однородных кристаллов показал незначительные последовательные изменения  $^{13}\text{C}$  в точках от центра к периферии и по микроблокам, наблюдаемым в них на картинах катодолуминесценции (см. рис. 3). В эклогитовом кристалле 6087 обнаружено обогащение зон роста облегченным составом изотопов углерода  $^{13}\text{C}$ : 3,8; 4,2; 4,1; в алмазе 6110 перидотитового парагенезиса происходило постепенное утяжеление изотопного состава  $^{13}\text{C}$ : 6,2; 5,8; 5,6.

В неоднородном кристалле 6048 с округлой ядерной зоной и последующей тонкой октаэдрической зональностью изменение изотопного состава углерода более существенно и наблюдается последовательное обогащение легкими изотопами от центра к периферии (см. рисунки 2, В и 4). Это свидетельствует об особых геохимических условиях формирования кристаллов, связанных, вероятно, с фракционированием углерода в магматическом расплаве в течение их роста. Кроме того, анализ изотопного состава углерода данного кристалла полностью подтверждает изложенную онтогенетическую схему его образования (см. рис. 4). Первые зоны роста на ядрах 1 и 2 полностью идентичны. Изотопный состав углерода ядра 2 также весьма близок таковому первых зон роста на ядре 1. Следовательно, весьма вероятно, что ядро 2 образовалось с ними синхронно и является, по сравнению с ядром 1, индивидом более поздней генерации алмаза, захваченным кристаллом. Последовательность роста фаз алмаза со следами пластической деформации и октаэдрической зональностью ясно указывает в данном случае на их сингенетичное происхождение. Затравкой для роста октаэдрического кристалла служил пластически деформированный индивид.

Далее обсудим результаты исследований. Так, морфология округлых кристаллов 6087 и 6110 свидетельствует о постростовых процессах растворения и травления при нахождении алмазов в условиях их нестабильности, скрывающих поздние зоны роста кристаллов и собственно их первоначальную форму. Экспериментально установленная схема кристалломорфологической эволюции растворения природного алмаза, которая может быть реализована как в магматическом, так и метасоматическом про-

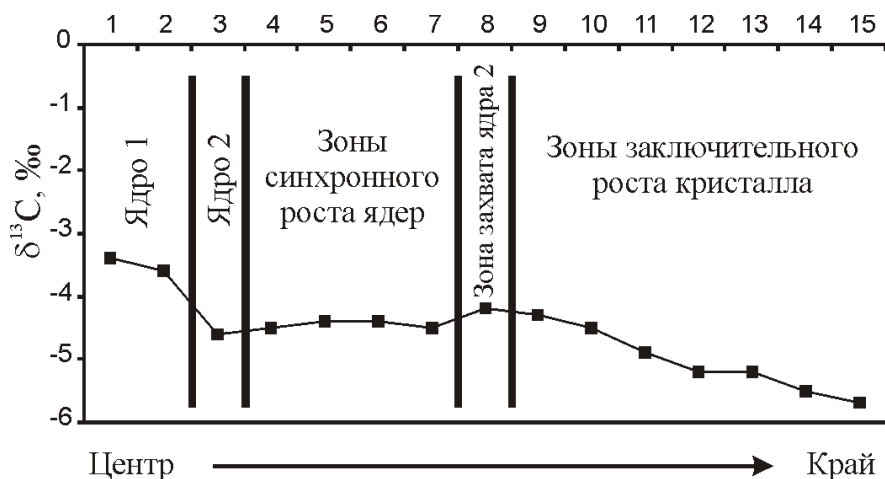


Рис. 4. Изменение изотопного состава углерода <sup>13</sup>C в процессе роста кристалла 6048

пессах, подразумевает получение его конечной формы в виде додекаэдроидов практически из любой формы роста [23]. Характер картин катодоллюминесценции округлых кристаллов: отсутствие секторов роста, характерных для куба и его комбинаций с октаэдром, позволяет предположить, что их формой роста был октаэдр.

Как уже было отмечено, основным типоморфный признак кристаллов алмаза «жильного» типа — наличие эффектов пластической деформации, происшедшей, по мнению большинства исследователей, в постростовой период [6, 22]. Однако подобное утверждение вызывает сомнения, поскольку распределение гидростатического давления в расплаве (флюиде) предполагает отсутствие анизотропии и осевых нагрузок в среде кристаллизации [17]. В частности, подчеркивается, что проявление пластической деформации алмаза с трансляционным скольжением в чистом виде в природе не встречается, так как для этого необходимо создать условия чистого сдвига [24]. Установлено, что в деформированных кристаллах алмаза происходят сложные искажения кристаллической решетки с образованием дефектов в виде ротационных поворотов вокруг нескольких осей, смещений по плоскостям, рациональных и иррациональных двойников [22].

Г.М.Рылов с соавторами [20] показали, что трещиноватость по спайности в пластически деформированных кристаллах алмаза из россыпей Гуаньямо (Венесуэлла) образовалась при понижении температуры уже после того, как они претерпели пластическую деформацию в условиях повышения температуры в постростовую стадию. Этот процесс имеет прямое сходство с явлением гетерометрии кристаллов, когда упругие напряжения компенсируются возникновением трещин при смене термодинамических условий их существования. Как мы видим, данные условия предполагают наличие нескольких этапов развития процесса: рост кристалла, постростовая пластическая деформация, связанная с повышением температуры, понижение температуры, и, как следствие, развитие трещин в индивидах.

Присутствие в кристалле 6048 двух деформированных ядер наряду с хорошо проявленной последующей октаэдрической зональностью без признаков деформации позволяет допустить возможность происхождения деформаций по иному сценарию: синхронно с процессом роста кристаллов. Кристалломорфологическая эволюция исследованного индивида предполагает условия протекания процесса деформации синхронно с процессом роста кристалла. Характер изменения изотопного состава углерода и кристалломорфология ядерных зон минерала также свиде-

тельствует о сингенетичном происхождении кристаллов алмаза с пластической деформацией и ламинарных октаэдрических кристаллов, и укладывается в предложенную авторами статьи онтогенетическую схему образования алмаза.

По мнению авторов, при интерпретации происхождения пластической деформации кристаллов алмаза под воздействием стресса и давления часто несправедливо исключается возможность ее возникновения за счет взаимодействия процессов саморазвития кристалла и воздействия внешних сил или без такового. Возникновение подобных деформаций подробно изучено Ю.О.Пуниным [19] на примере искусственного выращивания кристаллов и определено им как ростовая автодеформация. Различаются упругие, пластические и хрупкие автодеформации с развитием соответствующих типов дефектов (напряжения, трещины, аномальная анизотропия, микроблочность, расщепление кристаллов и др.). Они происходят по дислокационному механизму и сопровождаются поверхностной рекристаллизацией кристаллов, частично снимающей напряжения за счет разворота микроблоков относительно основной позиции кристалла. Установлено, что автодеформация становится возможной при достижении некоторого достаточно большого пересыщения, критический порог которого различен для разных химических веществ. Мы полагаем, что этот процесс наряду с проявлением деформаций мог быть пусковым механизмом развития микроблочных, расщепленных кристаллов, двойников, сложных сростков и агрегатов, образование которых применительно к алмазу, связывают именно с повышенным пересыщением в среде кристаллизации [28].

При наблюдении оптическими методами и методом катодоллюминесценции полосы пластической деформации, как правило, полностью скрывают последовательность образования зон и блоков кристаллов (см. рис. 3). Однако на периферии кристалла 6110 с пластически деформированным центром наблюдаются фрагменты сложной ступенчатой зональности с элементами роста граней октаэдра. По ее строению можно наблюдать, что каждая последующая зона зарождалась массово в активных к росту входящих углах граней {111} октаэдрического кристалла с внешним ламинарным строением. Из этого следует, что пластическая деформация кристалла, как и в случае образца 6048, происходила одновременно с ростом индивида и, вероятно, постепенно затухала с переходом к полицентрическому росту, что может быть связано с падением пересыщения.

На основании приведенных данных по кристалломорфологии, внутреннему строению и изотопному составу углерода различных типов алмазов I разновидности из

Эбеляхских россыпей можно сделать следующие предварительные выводы:

1. Округлые кристаллы «бразильского» типа и округлые кристаллы «жильного» типа с полосами пластической деформации при изучении их катодолуминесценции и изотопного состава углерода обнаруживают значительные черты сходства кинетических условий их роста и среды кристаллизации.

2. Появление полос пластической деформации в кристаллах алмаза, вероятно, связано с процессом автодеформации, и происходило в результате саморазвития дефектов в кристаллах в течение их роста. Возможными причинами могли являться высокие пересыщения, наличие поверхностно-активных веществ или активного поглощения примесей.

3. Процесс алмазообразования носил сложный многостадийный характер. На начальной стадии формировались кристаллы с полосами пластической деформации. Далее следовала стадия роста ламинарных октаэдров, а затем, как правило, стадия растворения кристаллов, что может свидетельствовать об условиях постепенного падения пересыщения.

4. Наличие общей истории роста кристаллов «жильного» типа и ламинарных октаэдров указывает на их сингенетичную природу.

Таким образом, для трех типов алмаза I минералогической разновидности устанавливается близость их генезиса вплоть до возможности синхронного роста октаэдрических кристаллов и деформированных индивидов в единой эволюционирующей среде кристаллизации. В связи с этим представляется, что причины появления значительного количества округлых кристаллов в россыпях р.Эбелях в большей степени следует искать в особенностях эволюции литосферной мантии под Лено-Анабарской алмазоносной субпровинцией, а не в различиях генетических типов коренных источников, каковы бы они ни были.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В.П., Иванов И.Н., Коптиль В.И.* и др. Типоморфизм алмазов из кимберлитовых жил и возможные коренные источники алмазоносных россыпей севера Западной Якутии // Докл. АН СССР. 1974. № 214. С. 425—428.
2. *Афанасьев В.П., Елисеев А.П., Надолинный В.А.* и др. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидностей (по классификации Ю.Л.Орлова) // Вестник Воронеж. ун-та. Геология. 2000. Вып. 10. С. 79—97.
3. *Барашков Ю.П., Бескрованов В.В., Пироговская К.Л.* Типоморфизм алмазов из россыпных месторождений Сибирской платформы // Эффективный прогноз и поиски месторождений алмазов. — С-Пб., 2004. С. 43—46.
4. *Бескрованов В.В., Шамшина Э.А.* О происхождении россыпных месторождений алмазов с не установленными источниками // Отечественная геология. 2000. № 5. С. 3—6.
5. *Варламов А.И., Будников И.В., Девятов В.П.* и др. Инновационный подход к прогнозированию и поискам месторождений алмазов на территории Сибирской провинции // Геология алмазов — настоящее и будущее. — Воронеж: изд-во Воронежского гос. ун-та, 2005. С. 1136—1159.
6. *Владимиров В.И., Романов А.Е.* Дисклинации в кристаллах. —Л.: Наука, 1986.
7. *Владыкин Н.В., Лелюх М.И., Толстов А.В.* Парагенез лампроитов, пикритов и карбонатитов в Восточном Прианабарье // Проблемы геологии и освоения минерально-сырьевых ресурсов Восточной Сибири. —Иркутск, 1998. С. 35—37.
8. *Граханов С.А.* К вопросу о распространении неоген-нижнечетвертичных россыпей алмазов северо-востока Сибирской платформы // Вестник Воронеж. ун-та. Геология. 2000. Вып. 5 (10). С. 212—215.
9. *Граханов С.А.* Алмазы импактного генезиса в россыпях северо-востока Сибирской платформы // Вестник Воронеж. ун-та. Геология. 2001. Вып. 1. № 12. С. 236—238.
10. *Епифанов В.А., Родин Р.С.* Некимберлитовые коренные источники алмазов Эбеляхского района (Республика Саха) и проблема связи проявлений алмазов и пород класса аллитов // Вопросы минерогенеза Сибири. —Новосибирск, 1994. С. 33—40.
11. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. —М.: Недра, 2003.
12. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И.* Среднемасштабное районирование Лено-Анабарской субпровинции по типоморфным особенностям алмазов и вопросы прогнозирования их первоисточников // Природные и техногенные россыпи и месторождения кор выветривания на рубеже тысячелетий. —М., 2000. С. 145—147.
13. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Махин А.И., Кутузова Т.Я.* Типоморфизм алмазов из россыпей северо-востока Сибирской и кимберлитов Архангельской алмазоносных провинций // Природные и техногенные россыпи и месторождения кор выветривания на рубеже тысячелетий. —М., 2000. С. 189—192.
14. *Иванов И.Н.* Пространственно-временные особенности распределения алмазов в кимберлитах по габитусам и морфологии // Геология алмазов — настоящее и будущее. —Воронеж: изд-во Воронежского гос. ун-та, 2005. С. 1051—1054.
15. *Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений // Автореф. дис.... канд. геол.-мин. наук. —Новосибирск, 1994.
16. *Метелкина М.П., Прокопчук Б.И., Суходольская О.В., Францессон Е.В.* Докембрийские алмазоносные формации мира. —М.: Недра, 1976.
17. *Мокиевский В.А., Титова В.М., Бартоштинский З.В.* Проявление пластической деформации в алмазе и некоторые вопросы, связанные с пластичностью кристаллов // Зап. ВМО. 1962. Сер. 2. Ч. 91. Вып. 4. С. 381—393.
18. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. —М.: Наука, 1984.
19. *Пунин Ю.О.* Происхождение автодеформационных дефектов кристаллов // Минералогическая кристаллография и ее применение в практике геологоразведочных работ. —Киев, 1986. С. 106—114.
20. *Рылов Г.М., Федорова Е.Н., Соболев Н.В.* Исследование внутреннего строения несовершенных кристаллов алмаза на основе синхротронного метода Лауэ-СИ // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 2. С. 242—249.
21. *Соболев В.К.* Проблема коренных источников Севера Европейской части СССР. —Архангельск, 1991. С. 68—100.
22. *Урусовская А.А., Орлов Ю.А.* О характере пластической деформации кристаллов алмаза // Докл. АН СССР. 1964. Т. 154. № 5. С. 1099—1102.
23. *Хохряков А.Ф., Пальянов Ю.Н., Соболев Н.В.* Кристалломорфологическая эволюция природного алмаза в процессах растворения: Экспериментальные данные // Докл. РАН. 2001. № 5. С. 656—660.
24. *Юшкин Н.П.* Механические свойства минералов. —Л.: Наука, 1971.
25. *Bulanova G.P., Varshavsky A.V., Kotegov V.A.* A venture into the interior of natural diamond: genetic information and implications for the gem industry. Part I: The main types of internal growth structures // The Journal of Gemmology. Vol. 29. № 7/8. July/October 2005. P. 377—386.
26. *Harte B., Fitzsimons C.W., Harris J.W., Otter M.L.* Carbon isotope ratios and nitrogen abundances in relation to cathodoluminescence characteristics for some diamonds from Kaapvaal province, S.Africa // Mineral. Mag. 1999. 63. (6). P. 829—856.
27. *Luk'yanova L.I., Lobkova L.P., Zhukov V.V.* et al. Diamonds of the Urals Mobile Belt and Source Rocks for the Uralian (Brazilian) type Diamond Placers // 7<sup>th</sup> IGC. Extended Abstr. Cape Town, 1998. P. 515—517.
28. *Sunagava I.* Morphology of diamond // Morphology and Phase Equilibria of Minerals. Sofia: IMA, 1982. P. 195—207.