

# МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

УДК 549.629:552.323.6:535.34

*А.И. БОТКУНОВ, В.К. ГАРАНИН, Т.Н. ИВАНОВА,  
А.Н. КРОТ, Г.П. КУДРЯВЦЕВА, С.С. МАЦЮК*

## ОПТИКО-КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНАТОВ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ ИЗ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК МИР И СПУТНИК

Окраска гранатов в качестве поискового признака широко используется в районах развития кимберлитового магматизма [8, 13, 15]. Однако эффективность применения окраски гранатов в качестве надежного генетического индикатора требует объективной оценки цвета минерала, что может быть выполнено на основе оптико-колориметрических и спектроскопических характеристик пиропов. Эти параметры отражают вариации состава, валентность, структурное положение хромоформных центров гранатов [9—11]. Установленный типоморфизм окраски гранатов дает возможность определять по колориметрическим и спектроскопическим параметрам гранатов условия их образования и прогнозировать в кимберлитовых телах наличие алмазосодержащих ассоциаций. Изучение цветовых характеристик гранатов из различных кимберлитовых тел и типов кимберлита, отвечающих разным по времени этапам внедрения, изучение распределения алмазосодержащих ассоциаций на глубину с целью выяснения вертикальной зональности трубок, типизация ареолов рассеяния (привязка к определенным коренным телам) — вот далеко не полный перечень задач, в решении которых существенное значение приобретают оптико-колориметрические и спектроскопические характеристики гранатов кимберлитового генезиса.

В настоящей работе приведены результаты исследования гранатов с игольчатыми включениями из концентратов кимберлитовых трубок Мир и Спутник (Мало-Ботуобинское поле).

В трубке Мир описаны различные ксенолиты глубинных пород [3—6, 13], оптико-колориметрические параметры гранатов из которых приведены на рис. 1. Для оценки относительной распространенности гранатов из различных ассоциаций в трубке Мир для случайно отобранных 300 зерен из концентрата по данным оптической спектроскопии построена гистограмма их распределения (рис. 2, а). Из рис. 2, а следует, что в концентрате трубки Мир присутствуют гранаты всех разновидностей глубинных ксенолитов, при этом максимальным развитием пользуются гранаты из равномерно-зернистых лерцолитов и шпинельсодержащих перидотитов, меньшим развитием пользуются гранаты из ксенолитов эклогитов, в виде единичных зерен присутствуют гранаты из потенциально алмазоносных дунитов и дунитов.

Из представительной коллекции гранатов размером 5—10 мм с включениями (около 1000 зерен) из концентрата трубки Мир под бинокляром были отобраны гранаты с включениями игольчатого габитуса (182 зерна). Основные результаты их изучения приведены на рис. 2, в и 3, из которых видно, что гранаты с игольчатыми включениями распространены практически во всех парагенетических ассоциациях трубки Мир, что указывает на возможность происхождения их за счет дезинтеграции ксенолитов. Среди гранатов с игольчатыми включениями отсутствуют гранаты из дунитовых ассоциаций, что, вероятно, связано с редкостью гранатов этих ассоциаций в трубке Мир, а также среди гранатов пироксенитов и желваков граната, что, возможно, указывает на специфические условия формирования этих парагенетических ассоциаций гранатов. Следует подчеркнуть, что среди гранатов с игольчатыми включениями присутствуют гранаты дистеновых эклогитов, не описанные пока для трубки Мир, а также большая группа гранатов, большая часть которых по оптико-колориметрическим параметрам не имеет

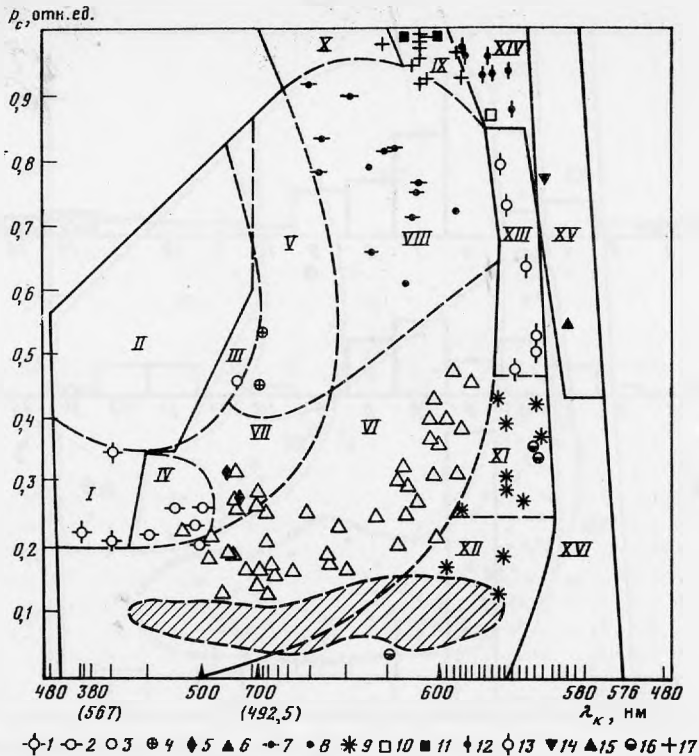


Рис. 1. Модифицированная диаграмма ( $\lambda_k - \rho_c$ ) гранатов из трубки Мир

1 — потенциально-алмазоносные гарцбургиты; 2 — гарцбургиты; 3 — дуниты; 4 — верлиты; 5 — шпинельсодержащие перидотиты; 6 — равномерно-зернистые перцолиты; 7 — пироксениты; 8 — катаклазированные перцолиты; 9 — вебстериты; 10 — алмазоносные ильменитовые гипербазиты; 11 — ильменитовые гипербазиты; 12 — потенциально-алмазоносные магнезиально-железистые эклогиты; 13 — магнезиально-железистые эклогиты; 14 — алмазоносный корундовый эклогит; 15 — алмазоносный дистеновый эклогит; 16 — магнезиальные эклогиты; 17 — желваки граната. Заштрихована область гранатов с включениями, не имеющая аналогов среди гранатов из ксенолитов. Здесь и на рис. 3, 5—9 околнурены поля гранатов из: I — потенциально-алмазоносных гарцбургитов, II — потенциально-алмазоносных дунитов, III — дунитов, IV — гарцбургитов, V — верлитов, VI — равномерно-зернистых перцолитов, VII — шпинельсодержащих перидотитов, VIII — пироксенитов и катаклазированных перцолитов, IX — ильменитовых перидотитов, X — желваков граната, XI — вебстеритов, XII — магнезиальных эклогитов, XIII — магнезиально-железистых эклогитов, XIV — потенциально-алмазоносных магнезиально-железистых эклогитов, XV — потенциально-алмазоносных дистеновых эклогитов, XVI — дистеновых эклогитов

аналогов среди гранатов ксенолитов трубки Мир (см. рис. 1). Характерной чертой этих гранатов является широкое развитие включений углеводородов в них [2]. Среди углеводородных включений выделяется несколько типов.

1. Газ (жидкость?) (5—30%) + желто-бурая углеводородная жидкость (70—95%) + бесцветные органические фазы (менее 1%) (рис. 4, а, б). "Газовая" фаза имеет округлую, овальную (см. рис. 4, а), часто сильно деформированную форму, иногда в пределах вакуоли находится несколько пузырьков "газа", которые не сливаются (см. рис. 4, б). Твердые фазы угловатой, крючковидной, иногда ограниченной формы, двупреломляют. Желто-бурая жидкость, как правило, неоднородная.

2. Один или несколько "газовых" пузырьков (до 70%) + желто-бурая жидкость (рис. 4, в).

3. Недеформированный "газовый" пузырек (до 50%) + бесцветная жидкость + изотропные кристаллы (до 2%) + анизотропные кристаллы (около 1%) (рис. 4, з).

4. Недеформированный или слабо деформированный "газовый" пузырек (до 50%) + бесцветная жидкость.

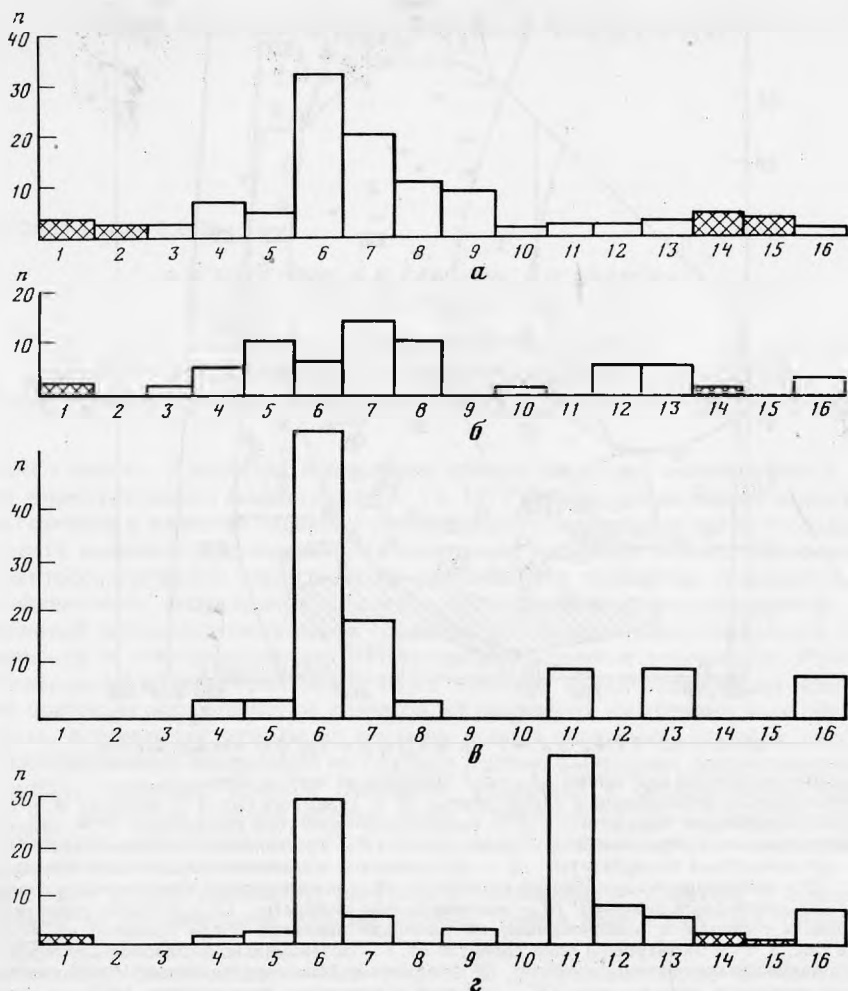


Рис. 2. Гистограммы распределения гранатов по ассоциациям (частота встречаемости зерен в %) *а* — из концентрата трубки Мир, число зерен, отобранных случайным образом, 300; *б* — из концентрата трубки Спутник, число зерен, отобранных случайным образом, 140; *в* — из концентрата трубки Мир с игольчатыми включениями, число зерен 182; *г* — из концентрата трубки Спутник с игольчатыми включениями, число зерен 55. 1–16 — соответствуют полям, выделенным на рис. 1. Затусованные области на гистограммах соответствуют потенциально-алмазоносным ассоциациям

Включения всех типов могут располагаться в пределах одного зерна, как правило, при преобладании 1-го и 2-го типов.

Гранаты с включениями углеводородов по оптико-колориметрическим и спектроскопическим характеристикам частично перекрываются с гранатами из ксенолитов вебстеритов, магнезиальных эклогитов и равномерно-зернистых лерцолитов (см. рис. 3). Факт наличия подобных гранатов с углеводородными включениями не только имеет важное теоретическое значение (для понимания флюидного режима кимберлитообразования), но несомненно представляет и практический интерес. Во-первых, подобные флюиды могли быть источником атомарного углерода в области алмазообразования, поэтому находки гранатов с первичными флюидными включениями рассматриваются некоторыми авторами [12] в качестве типоморфного признака алмазоносных трубок. Во-вторых, значительно расширяется поле гранатов в трубке Мир на модифицированной диаграмме ( $\lambda_k - \rho_c$ ) цветности, и, как будет показано ниже, это поле резко выделяет гранаты этой трубки среди других кимберлитовых тел Мало-Ботубобинского района.

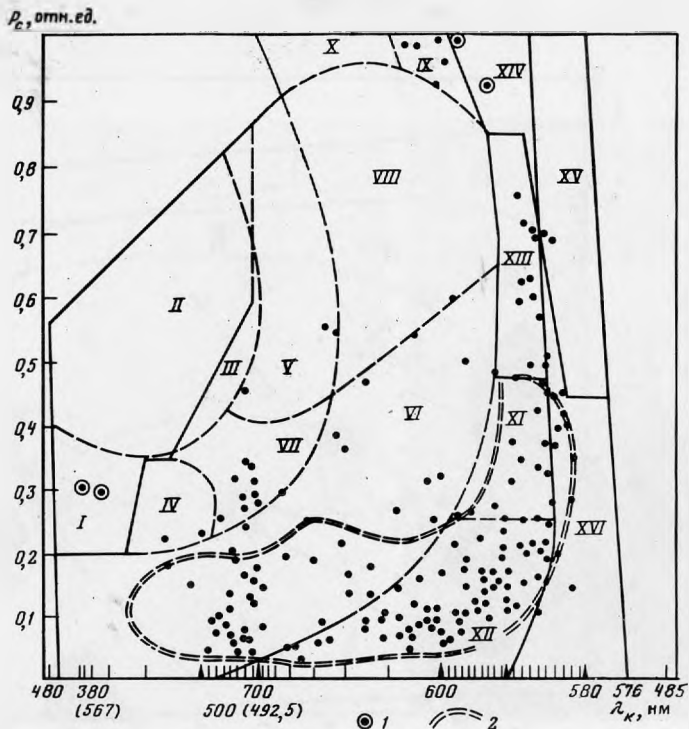


Рис. 3. Модифицированная диаграмма цветности ( $\lambda_k - \rho_c$ ) гранатов с включениями игольчатого габитуса из концентрата кимберлитовой трубки Мир

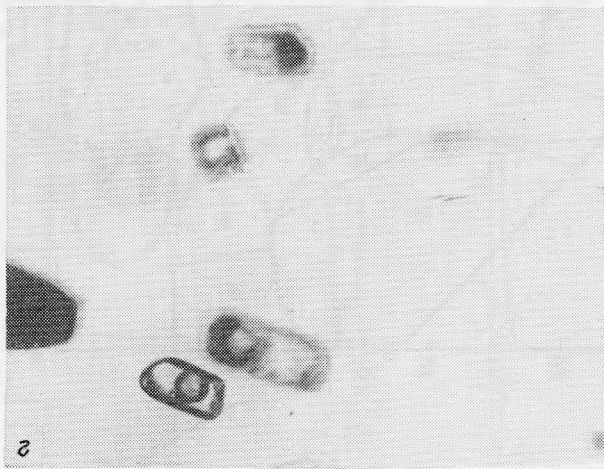
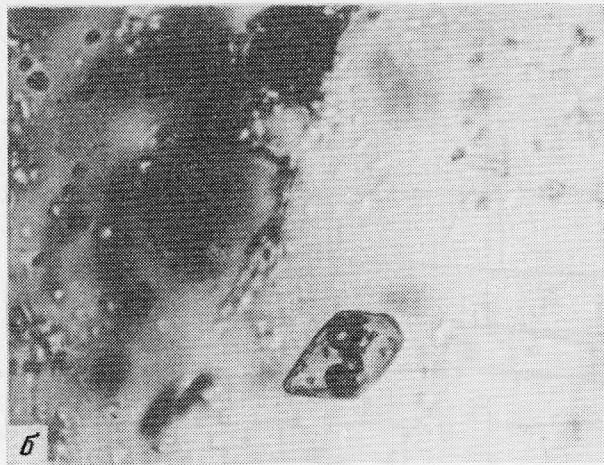
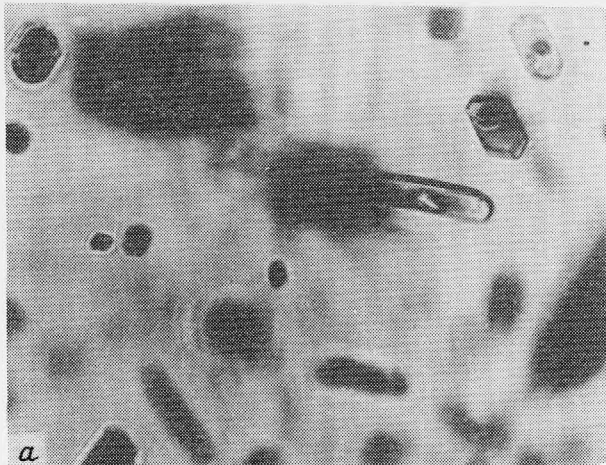
1 — гранаты из потенциально-алмазоносных ассоциаций; 2 — околонурина область гранатов с углеводородными включениями

Данный факт имеет большое значение при типизации ареолов рассеяния в Мало-Ботубинском районе, в котором многие россыпи "зараженные" гранатами из трубки Мир, что безусловно следует учитывать при поисковых работах.

При исследовании гранатов из различных типов кимберлита трубки Мир, выделенных А.И. Боткуновым [2], выявлена обратная корреляция между наличием гранатов потенциальных алмазоносных ассоциаций и гранатов с игольчатыми включениями (рис. 5,6). Так, для гранатов из концентрата трубки Мир 2-го типа кимберлита число гранатов из потенциально алмазоносных ассоциаций — 3 из 100 случайным образом отобранных зерен, с игольчатыми включениями — 12, а для гранатов 5-го типа — 9 и 0 соответственно. Такие результаты, по-видимому, можно объяснить различными физико-химическими условиями становления типов кимберлита. Полученные данные могут иметь значение при визуальной оценке относительной алмазоносности определенных типов кимберлита (по распространенности игольчатых включений в гранатах из концентрата) и отдельных трубок. Так, например, для неалмазоносной трубки Обнаженная практически для всех гранатов характерно наличие игольчатых включений. Для всех гранатов неалмазоносной трубки Ягодка (Алданский щит) также характерно наличие игольчатых включений. Обе трубки сходны по условиям формирования: низкие  $P$ ,  $T$ -параметры и высокий окислительный потенциал [7, 14].

По оптико-колориметрическим и спектроскопическим характеристикам гранаты из концентрата кимберлитовой трубки Спутник наиболее близки к гранатам из концентрата трубки Мир (см. рис. 2, а, б, 7). Общие особенности гранатов данных трубок следующие.

1. Резкое преобладание гранатов лерцолитового парагенезиса над гранатами всех остальных ассоциаций и шпинельсодержащими перидотитами. В трубках имени XXIII съезда КПСС (рис. 8) и Интернациональная (рис. 9) наблюдаются обратные соотношения.



**Рис. 4.** Типы углеводородных включений в гранатах трубки Мир  
а – обр. 122, увел. 300 (I тип); б – обр. 119, увел. 300 (I тип); в – обр. 122, увел. 300 (II тип); г – обр. 122, увел. 300 (III тип)

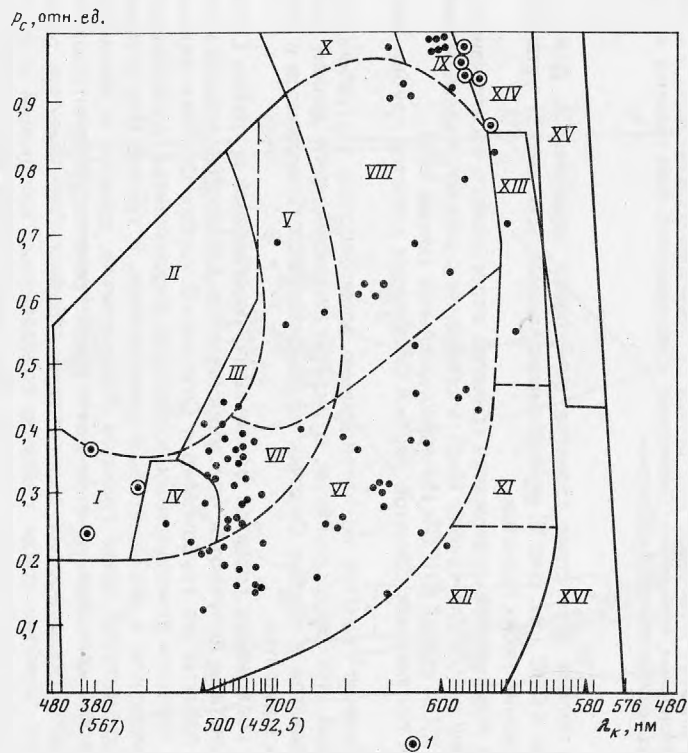


Рис. 5. Модифицированная диаграмма цветности ( $\lambda_k - \rho_c$ ) гранатов из концентрата II типа кимберлита трубки Мир  
 1 — гранаты без игольчатых включений; 2 — гранаты с игольчатыми включениями; 3 — гранаты из потенциально-алмазоносных ассоциаций

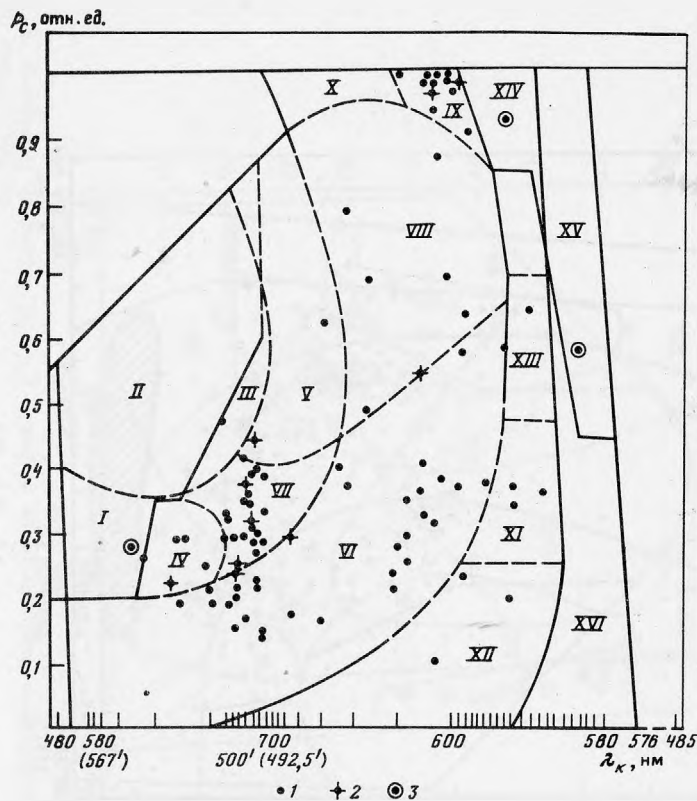


Рис. 6. Модифицированная диаграмма цветности ( $\lambda_k - \rho_c$ ) гранатов из концентрата V типа кимберлита трубки Мир  
 1 — гранаты из потенциально-алмазоносных ассоциаций

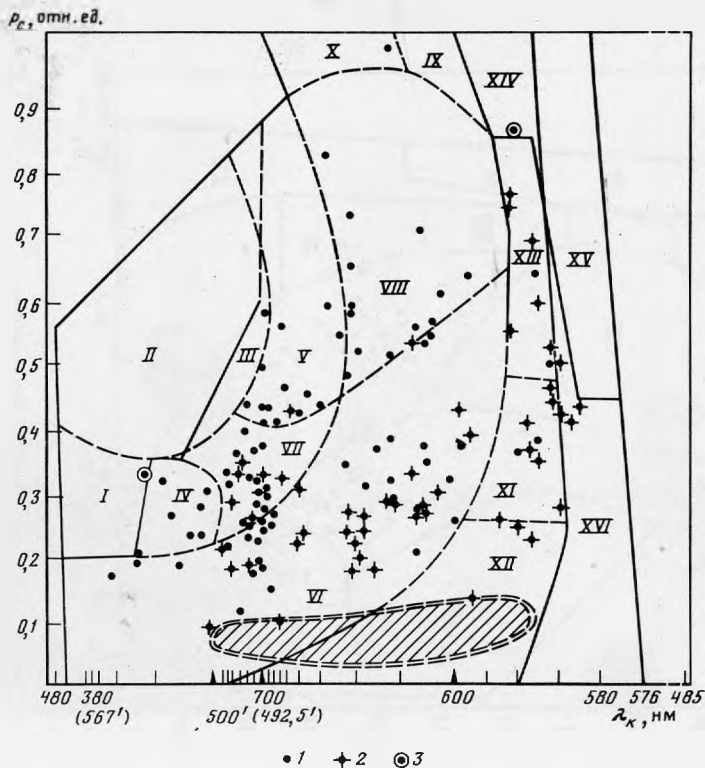


Рис. 7. Модифицированная диаграмма цветности ( $\lambda_k - \rho_c$ ) гранатов из концентрата кимберлитовой трубки Спутник

1 — гранаты без игольчатых включений; 2 — гранаты с игольчатыми включениями; 3 — гранаты из потенциально-алмазоносных ассоциаций. Оконтурено и заштриховано поле гранатов из трубки Мир, отсутствующих среди гранатов трубки Спутник

2. Практически полное отсутствие гранатов дунитового парагенезиса. Для трубок имени XXIII съезда КПСС (см. рис. 8) и Интернациональная (см. рис. 9) установлены повышенные содержания таких гранатов.

3. Относительно повышенное содержание гранатов эклогитового парагенезиса (15% для трубки Спутник и 10% для трубки Мир) в сравнении с рассматриваемым минералом трубок имени XXIII съезда КПСС и Интернациональная (менее 10%).

Отличительными признаками гранатов трубки Спутник от гранатов трубки Мир являются:

1. Низкое содержание гранатов из потенциально алмазоносных ультраосновных и основных ассоциаций, что свидетельствует о низкой алмазоносности данной трубки.

2. Отсутствие гранатов в трубке Спутник из ильменитовых гипербазитов и алмазоносных дистеновых эклогитов.

3. Повышенное содержание гранатов верлитового парагенезиса в трубке Спутник.

Интересные результаты получаются при сопоставлении распространенности игольчатых включений в гранатах из трубок Мир и Спутник. В трубке Спутник включения отсутствуют среди гранатов алмазоносных ассоциаций, пироксенитов, катаклазированных лерцолитов, желваков и ильменитовых гипербазитов. В трубке Мир игольчатые включения также отсутствуют среди гранатов пироксенитов, дунитов и потенциально алмазоносных дунитов, желваков, но отмечаются среди гранатов ильменитовых гипербазитов, потенциально алмазоносных эклогитов и гарцбургитов. Имеются различия и в количественном развитии среди гранатов определенных ассоциаций игольчатых включений (см. рис. 2, б, з). В трубке Спутник (см. рис. 7) отсутствует целая группа гранатов (окоптурена на рис. 7), сформированная среди гранатов трубки Мир. Именно

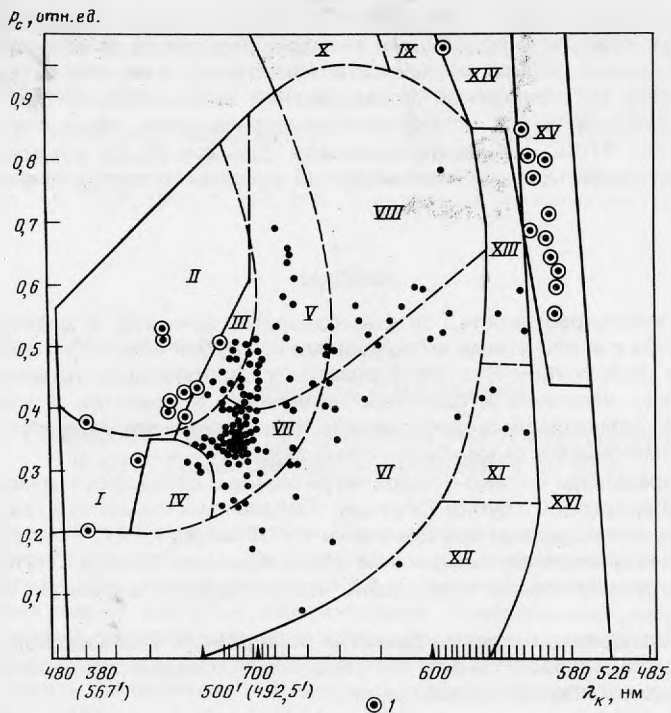


Рис. 8. Диаграмма цветности ( $\lambda_k - \rho_c$ ) гранатов из концентрата кимберлитовой трубки имени XXIII съезда КПСС [9]  
 1 — гранаты из потенциально-алмазоносных ассоциаций

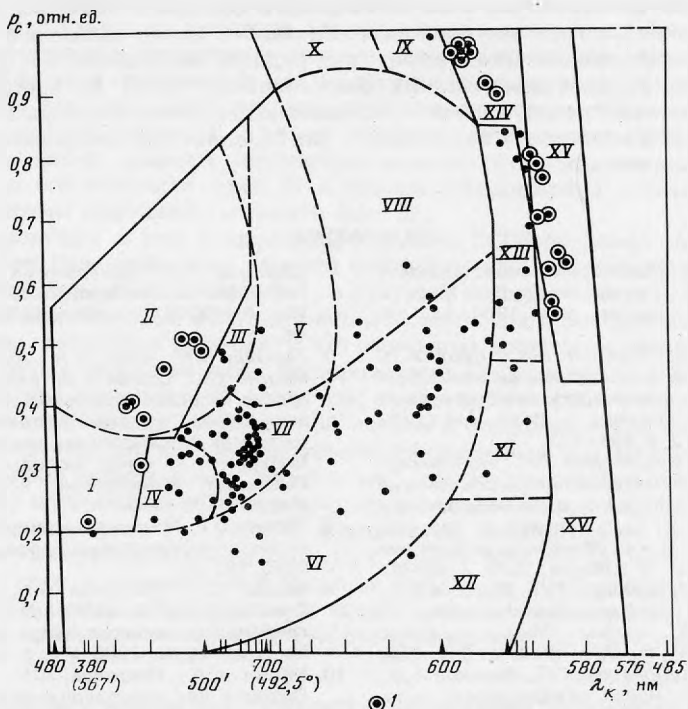


Рис. 9. Диаграмма цветности ( $\lambda_k - \rho_c$ ) из концентрата кимберлитовой трубки Интернациональная [9]  
 1 — гранаты из потенциально-алмазоносных ассоциаций



в этой группе гранатов трубки Мир широко развиты включения углеводородов. Хотя в трубке Спутник гранаты с подобными включениями также отмечаются [1], область их развития на данный период изученности значительно уже, чем в трубке Мир, что может быть связано со спецификой формирования этих кимберлитовых тел. Гранаты с подобными включениями и оптико-колориметрическими параметрами в трубках имени XXIII съезда КПСС и Интернациональная (см. рис. 8, 9) пока не обнаружены, что может рассматриваться как типоморфный признак гранатов с включениями из трубки Мир.

## ВЫВОДЫ

1. Изучена распространенность, оптико-колориметрические и спектроскопические параметры гранатов с игольчатыми включениями из трубок Мир и Спутник.
2. На примере ряда трубок Якутской алмазоносной провинции установлена обратная корреляция между наличием игольчатых включений в гранатах и числом гранатов из потенциально алмазоносных ассоциаций, что, возможно, является индикатором относительной алмазоносности кимберлитовых тел.
3. Впервые определены оптико-колориметрические и спектроскопические параметры гранатов из кимберлитовой трубки Спутник. Показано их сходство с гранатами из трубки Мир и отличие от таковых из трубок имени XXIII съезда КПСС и Интернациональная.
4. Отмечено незначительное содержание среди гранатов трубки Спутник минералов из потенциально алмазоносных ассоциаций, что указывает на низкую алмазоносность трубки.
5. Впервые установлено широкое развитие полифазных углеводородных включений в гранатах из кимберлитовой трубки Мир, что имеет большое значение для понимания флюидного режима кимберлитобразования.
6. Значительно расширена цветовая область гранатов для этой кимберлитовой трубки — факт, имеющий большое значение при типизации ареолов рассеяния, широко развитых в Мало-Ботубинском районе.
7. Необходимо детальное изучение химического состава игольчатых включений и гранатов из различных парагенетических ассоциаций с целью выяснения их генезиса. Среди игольчатых включений качественно (под рудным микроскопом и при качественной диагностике в характеристических рентгеновских лучах на микроанализаторе JXA-50A) установлены рутил, ильменит, хромшпинелид, силикатные фазы. Совместное изучение гранатов и игольчатых включений в них позволит оценить физико-химические условия их формирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боткунов А.И. Некоторые закономерности распределения алмазов в трубке Мир. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1964, вып. 4, с. 424—435.
2. Боткунов А.И., Гаранин В.К., Крот А.Н. и др. Первичные углеводородные включения в гранатах из концентрата кимберлитовых трубок Мир и Спутник. — Докл. АН СССР, 1985, т. 280, № 2, с. 468—473.
3. Гаранин В.К., Кудряцева Г.П., Пономаренко А.И. Ильменито-клинопироксеновые сростки из ксенолитов в кимберлитовых трубках Мир и Сытыканская и вопросы их генезиса. — В кн.: Минералы и парагенезисы минералов. М.: Наука, 1979, с. 40—50.
4. Гаранин В.К., Кудряцева Г.П., Серенко В.П., Харьков А.Д. Ильменитовый эглогит из кимберлитовой трубки Мир. — Докл. АН СССР, 1981, т. 260, № 4, с. 981—985.
5. Гаранин В.К., Кудряцева Г.П., Харьков А.Д., Чистякова В.Ф. Новая разновидность эглогитов в кимберлитах Якутии. — Докл. АН СССР, 1982, т. 262, № 6, с. 1450—1455.
6. Гаранин В.К., Кудряцева Г.П., Серенко В.П., Сошкина Л.Т. Минералогия ильменитовых гипербазитов кимберлитовой трубки Мир. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1983, № 2, с. 84—95.
7. Гаранин В.К., Крот А.Н., Кудряцева Г.П., Мацюк С.С. Состав и оптико-спектроскопические исследования гранатов из кимберлитоподобной трубки Ягодка (Алданский щит) как показатель их генезиса. — В кн.: Материалы XI конф. молодых ученых МГУ. Геохимия и полезные ископаемые. М.: Изд-во МГУ, 1984.
8. Лазько Е.Е. Минералы-спутники алмаза и генезис кимберлитовых пород. М.: Недра, 1979. 192 с.
9. Мацюк С.С., Платонов А.Н., Харьков А.Д. Типоморфное значение окраски гранатов глубинных минеральных ассоциаций. — Минерал. журн., 1980, № 5, с. 12—25.
10. Мацюк С.С., Платонов А.Н., Харьков А.Д. Окраска как кристаллохимический индикатор гранатов глубинных минеральных ассоциаций. — Минерал. журн., 1980, № 4, с. 24—43.

11. *Мацюк С.С., Платонов А.Н., Пономаренко А.И.* и др. Окраска гранатов как критерий алмазности экзогенных парагенезисов в кимберлитовых трубках. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1982, вып. 2, с. 159—167.
12. *Попивняк И.В., Демин Б.Г., Левицкий В.В., Копиль В.И.* Новые данные о летучих компонентах мантийных минералообразующих сред. — Докл. АН СССР, 1980, т. 254, № 5, с. 1238—1241.
13. *Соболев Н.В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск: Наука, 1974. 274 с.
14. *Уханов А.А.* Состав верхней мантии по ксенолитам трубки Обнаженная (северо-восток Сибирской платформы): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1975. 19 с.
15. *Харькие А.Д.* Минералогические основы поисков алмазных месторождений. М.: Недра, 1978. 136 с.

УДК 549.514.52 + 549.742.111:548.6

А.А. ГОДОВИКОВ, О.И. РИПИНЕН

### ПСЕВДОМОРФОЗЫ КРЕМНЕЗЕМА ПО ПАПИРШПАТУ В СЕРГЕЕВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ АГАТА

На Сергеевском месторождении агатов (Приморский край), связанных "с шаровыми лавами риолитового состава" [1], сравнительно широко распространены своеобразные "мозаичные" агаты. Они представляют собой выделения агата, заполняющего пустоты в риолитовых шарах, разбитые пластинчатыми перегородками, ориентированными под разными углами относительно друг друга, промежутки между которыми обычно заполнены халцедоном (агатом) разной окраски и текстуры (рис. 1), что и позволяет такой агат называть "мозаичным". В некоторых из шаров удается видеть перегородки, пространство между которыми лишь частично заполнено халцедоном (рис. 2). Важно отметить, что описываемые перегородки имеют произвольную ориентацию относительно халцедоновых "отстойников"<sup>1</sup> (см. рис. 1, а, 2).

Исследование поверхности подобных перегородок позволило на некоторых из них обнаружить скульптуру, характерную для кристаллов папиршпата (рис. 3). Наряду с этим были обнаружены риолитовые шары, в которых тончайшие кварцевые субпараллельные пластинчатые перегородки как бы прорастают крупнокристаллическим кварцем наподобие того, что известно для перегородок папиршпата на Дальнегорском датолитовом месторождении. В этих же образцах агата удалось обнаружить и явные признаки замещения кварцем крупнокристаллического кальцита в виде реликтов по плоскостям его спайности (рис. 4) и полных псевдоморфоз халцедона (агата) по скаленоэдрическим кристаллам кальцита (рис. 5).

Осмотр коллекций агатов в крупнейших музеях СССР позволил обнаружить среди образцов музея Ленинградского горного института крупные миндалины с месторождения Мулиной горы (Читинская обл.), в пустотах которых иногда встречаются кристаллы папиршпата. Полевые исследования, дополнительно проведенные нами на этом месторождении, позволили установить, что папиршпат достаточно характерен для кварцево-халцедоновых миндалин этого месторождения. Он выделяется в виде более поздней генерации кальцита (рис. 6), тогда как ранняя его генерация, отлагающаяся часто непосредственно на тонкой халцедоновой каемке в периферической части миндалины, представлена крупнокристаллическим кривоугольным кальцитом. На этом же месторождении обнаружены своеобразные "коробчатые" сростки кристаллов папиршпата, пространство между которыми инкрустировано кристаллами кварца, нарастающего на кристаллы папиршпата (рис. 7), внешне аналогичные кальцитовым (папиршпатовым) "коробочкам", инкрустированным кварцем с Дальнегорского датолитового месторождения. Кроме того, в миндалинах с Мулиной горы были обнаружены и прямые следы замещения папиршпата кремнеземом, а также полные псевдоморфозы кремнезема по папиршпату и мозаичные агаты, хотя и не столь красочные, как на Сергеевском месторождении.

<sup>1</sup> Эти перегородки были приняты М.А. Фаворской за халцедоновые "отстойники", что привело ее к выводу о высокотемпературном генезисе халцедона (агата) на Сергеевском месторождении в условиях вращения риолитовых шаров в силикатном расплаве [1].