

И.Н.БОГУШ, научный сотрудник, bogush@cnigri.alrosa-mir.ru

С.И.МИТЮХИН, главный геолог

ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА» (ЗАО)

Е.А.ВАСИЛЬЕВ, канд. геол.-минерал., инженер, simphy12@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

I.N.BOGUSH, Research Fellow, bogush@cnigri.alrosa-mir.ru

S.I.MITYUKHIN, Leading Geologist

YaNIGP TsNIGRI ALROSA Co., Russia

E.A.VASILIEV, PhDr. g.-m. Sci., Engineer, simphy12@mail.ru

Saint-Petersburg State Mining Institute (Technical University)

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ АЛМАЗОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ

Крупные выборки алмазов из основных коренных и россыпных месторождений Якутии исследованы методом инфракрасной спектроскопии с целью выявления наиболее информативных параметров для регионального и локального минералогического районирования. Сравнение различных характеристик показывает, что для выборок из одного источника максимальное отличие имеют средние значения коэффициента поглощения и положения максимума полосы *B2*.

Ключевые слова: алмаз, месторождение, Якутская алмазоносная провинция, районирование, инфракрасная спектроскопия, азот, структурные дефекты.

NEW DATA ON INFRARED SPECTROSCOPY OF DIAMONDS FROM INDUSTRIAL DEPOSITS OF YAKUTIA

Results of investigation of large diamond samples from main primary and some placer deposits of Yakutia by FTIR is given. Comparison of various characteristics indicates that maximal difference for samples of diamonds from different sources and minimal diversity for different samples from one source have average values of absorption coefficient and maximum positions of *B2* absorption band. The revealed parameters are proposed to be used during comparative analysis of diamonds of different kimberlite pipes, determination of the initial source of placer diamonds, forecasting of new sources.

Key words: diamond, deposit, the Yakutia diamond-bearing province, zoning, infrared spectroscopy, nitrogen, structural defects.

Введение. В алмазной геологии достоверная привязка алмазов к коренному источнику остается одной из самых актуальных и сложных задач, и для ее решения привлекаются различные методы исследования и описания алмазов. Одним из способов выявления особенностей и сопоставления алмазов из различных источников является измерение спектров поглощения в инфракрасном

(ИК) диапазоне для определения концентрации структурных дефектов *A*, *B1* и *B2*. Согласно современным представлениям [7, 11, 12, 18], дефект *A* состоит из двух атомов азота, а дефект *B1* – из четырех атомов азота и вакансий. При образовании из двух дефектов *A* дефекта *B1* появляются межузельные атомы углерода, из которых далее формируются более сложные центры *B2* [6, 10, 14]. Срав-

нительный анализ алмазов из коренных и россыпных месторождений проводится по статистическим распределениям кристаллов по концентрации азота в форме дефектов A ($C_{N(A)}$) и $B1$ ($C_{N(B1)}$) [1, 4, 7, 9, 15], усредненным концентрациям центров $B1$, степени агрегации азота ($C_{N(B1)} / (C_{N(A)} + C_{N(B1)})$, в процентах) [15, 16, 18], коэффициентам поглощения полосы $B2$, полосы 3107 см^{-1} [9, 15]. Многочисленными исследованиями установлено, что алмазы различных алмазоносных провинций существенно отличаются по степени агрегации и общей концентрации азота.

В данной работе проведено сопоставление крупных выборок алмазов из коренных и россыпных месторождений Якутии по характеристикам, определяемым методом ИК-Фурье-спектроскопии: концентрации атомов азота в форме дефектов A , $B1$ в процентах, коэффициенту поглощения (α_{B2}) и положению максимума (ν_{B2}) полосы $B2$, которое зависит от размера соответствующих дефектов [8]. Целью работы является выявление наиболее информативных параметров исследованных выборок алмазов, которые должны удовлетворять двум требованиям: 1) иметь минимальный разброс для разных выборок из одного источника; 2) показывать максимальное отличие для разных источников.

Методика исследований и образцы.

Для исследования были сформированы представительные коллекции алмазов размером $-4+1 \text{ мм}$ из кимберлитовых тел и россыпей, отвечающих Мало-Ботуобинскому, Далдыно-Алакитскому алмазоносным районам и Накынскому кимберлитовому полю. Кроме того, исследованы коллекции алмазов из россыпей севера Якутской алмазоносной провинции, где до настоящего времени не обнаружены коренные источники с промышленной алмазоносностью. Коллекции алмазов Мало-Ботуобинского района представляют коренные месторождения: трубки Мир (2260 шт.), Интернациональную (519 шт.), Дачную (548 шт.), низкоалмазоносные кимберлитовые трубки Таежную (143 шт.) и Амакинскую (121 шт.). Коллекции алмазов Далдыно-Алакитского района характеризуют месторождения Айхал (386 шт.),

трубки Сытыканскую (627 шт.), Юбилейную (365 шт.), Комсомольскую (483 шт.), Удачную (105 шт.). Алмазы Накынского кимберлитового поля представлены коллекцией из трубки Ботуобинской (535 шт.). Исследованы также алмазы бассейна р.Тюнг (240 шт.), нижнего течения р.Молодо (253 шт.), р.Эбелях (494 шт.). Описание особенностей морфологии алмазов из перечисленных кимберлитовых тел и россыпей приводится в монографии [3]. Для выявления наиболее информативных способов обработки и представления результатов, проверки воспроизводимости исследовано пять независимых выборок из промышленной добычи различных лет эксплуатации месторождения Мир и по две выборки из кимберлитовых трубок Ботуобинская и Интернациональная.

Спектры оптической плотности регистрировались на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ-1201 в диапазоне $400-4000 \text{ см}^{-1}$ с разрешением 4 см^{-1} через естественные грани с диафрагмами $1-2 \text{ мм}$. Если оптическая плотность в диапазонах $1070-1120$; $1350-1380$; $1900-2000 \text{ см}^{-1}$ превышала $4,5$, то дальнейшая обработка спектра не проводилась из-за невозможности корректного определения коэффициентов поглощения. Доля таких образцов в некоторых источниках достигала до 30% , поэтому выше для каждого месторождения было указано количество кристаллов, пригодных для дальнейших исследований. Пересчет спектров проводили с нормировкой по поглощению в двухфононной области так, чтобы коэффициенты поглощения на частотах 1973 и 2500 см^{-1} составляли соответственно $12,5$ и $4,9 \text{ см}^{-1}$ [5]. Определение коэффициентов поглощения индивидуальных систем A и $B1$ проводили согласно [5], концентрации азота в форме дефектов A и $B1$ вычисляли в соответствии с методиками [11, 12]. Относительные погрешности определения коэффициентов поглощения для дефектов A составили 10% , для дефектов $B1$ – 15% . Коэффициент поглощения полосы $B2$ определяли по высоте пика с относительной погрешностью 10% , без учета фона, который в большинстве случаев находится на уровне 1 см^{-1} , положение максимума ν_{B2} находили с точностью 1 см^{-1} .

Результаты исследований. При анализе результатов проводилась обработка выборки без выделения особенностей конкретных образцов, так как в каждом месторождении присутствуют образцы, не типичные для данного источника. Кроме того, в пределах одного образца часто присутствуют зоны с совершенно различными характеристиками [13]. Для алмазов кимберлитовой трубки Мир обнаружено существенное отличие между пятью выборками по распределению концентрации азота в форме дефектов *A*. Выявленные отличия вызваны, вероятно, неравномерным распределением алмазов с разными характеристиками в объеме трубки вследствие ее сложного внутреннего строения [4]. В общем случае распределения $C_{N(A)}$ по трубке Мир бимодальны, промежуточный минимум лежит в области 0,014-0,016 %. В соответствии с распределением по концентрации дефектов *A* по выборкам алмазов из трубки Мир бимодальны и распределения концентрации дефектов *B1* и *B2*. По выборкам отмечается тесная взаимосвязь между внешней морфологией и характером распределения $C_{N(A)}$. Так, выборка *M* представлена в основном октаэдрами, а в наиболее отличающейся от нее выборке *M1* наблюдается повышенное количество образцов ромбододекаэдрических и переходных форм в ряду октаэдр – ромбододекаэдр. Отбор кристаллов с концентрацией азота $C_{N(A)}$ более 0,015 % позволил получить унимодальные по исследуемым характеристикам распределения, которые характеризовались средними значениями. Поэтому далее приводятся результаты исследования выборок алмазов с концентрацией азота $C_{N(A)}$ более 0,015 %. Распределение по $C_{N(A)}$ бимодально у выборок из всех исследованных месторождений, что соответствует результатам работ [9, 15] и подтверждает правомерность разделения каждой выборки на две части в соответствии с концентрацией примесного азота. По среднеарифметическим значениям общей концентрации азота и степени агрегации (рис.1) выборки алмазов кимберлитовой трубки Мир занимают существенно отличающиеся положения, причем выборки из кимберлитовых трубок Интернациональная и Ботуобинская находятся в пре-

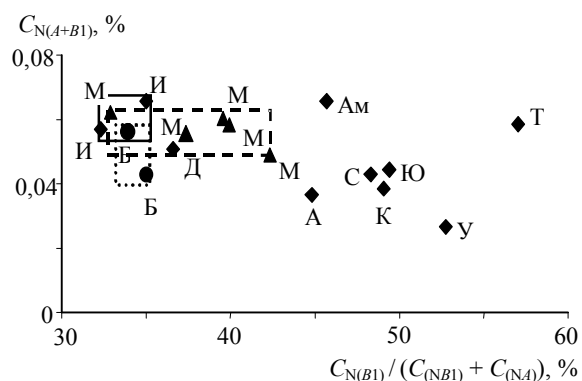


Рис.1. Положение выборок алмазов из коренных месторождений и двух алмазоносных кимберлитовых трубок Якутской алмазоносной провинции в координатах концентрация азота – степень агрегации.

Выборки алмазов и кимберлитовых трубок:

М-М4 – Мир (▲); Д – Дачная; И, И1 – Интернациональная; Ам – Амакинская; Б, Б1 – Ботуобинская (●); Т – Таежная; С – Сытыканская; Ал – Айхал; К – Комсомольская; У – Удачная; Ю – Юбилейная. Указаны диапазоны вариаций характеристик между выборками трубок Мир (---), Ботуобинская (.....), Интернациональная (—)

делах вариации характеристик между независимыми выборками из трубки Мир.

Разброс среднеарифметических значений определяемых параметров между независимыми выборками алмазов из кимберлитовой трубки Мир оказался минимален для положения максимума и коэффициента поглощения полосы *B2*, что позволяет использовать их для сравнения выборок из различных источников.

Распределения положения максимума полосы *B2* для выборок из исследованных коренных месторождений (рис.2) унимо-

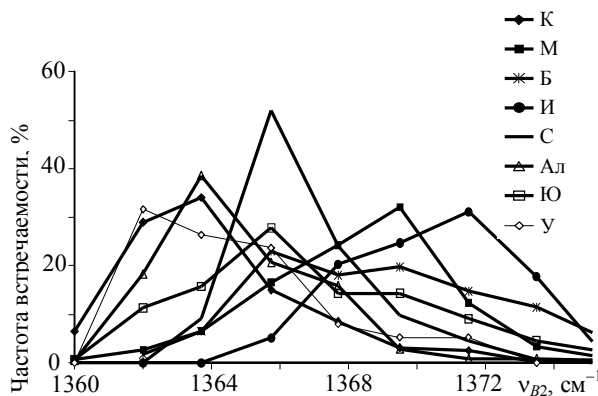


Рис.2. Распределение положения максимума полосы *B2* в выборках алмазов основных коренных месторождений Якутии

Условные обозначения см. рис.1

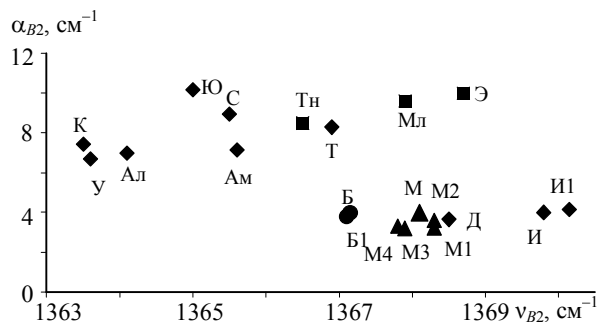


Рис.3. Положение выборок алмазов из различных коренных месторождений и некоторых россыпей в координатах коэффициент поглощения – положение максимума полосы поглощения B_2

Усл. обозначения см. рис.1; россыпи бассейнов (■):
 Э – р.Эбелях, Тн – р. Тюннг, Мл – р. Молодо

дальные, причем для каждой выборки от 60 до 85 % образцов располагаются в диапазоне $\pm 2 \text{ см}^{-1}$ от максимума распределения. Характер распределений меняется для месторождений различных алмазоносных районов: у кимберлитовых трубок Мир и Интернациональная максимум смещен в коротковолновую область с затяжкой распределения в длинноволновую.

Выборки месторождений Далдыно-Алакитского района имеют обратный характер распределения: максимум расположен в длинноволновой области с затяжкой в коротковолновую. У выборок кимберлитовых трубок Сытыканская и Юбилейная наблюдаются симметричные распределения.

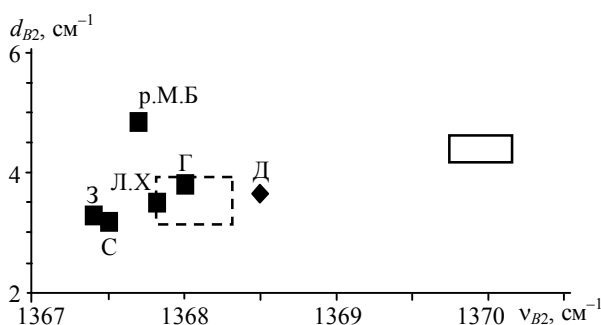


Рис.4. Положение выборок алмазов из различных коренных и некоторых россыпных месторождений Мало-Ботуобинского района в координатах коэффициент поглощения – положение максимума полосы поглощения B_2

Россыпи: 3 – Западная, С – Солур, Г – участок Горный; Л.Х. – лог Хабардина; р. М.Б. – аллювиальные отложения р. Малая Ботуобия; Д – кимберлитовая трубка Дачная. Пределы изменения характеристик выборок трубки Мир (---) и Интернациональная (—)

Результаты обработки всех полученных результатов, приведенные на рис.3, показывают, что положение выборок из трубки Мир достаточно компактно, и вариации характеристик в выборках этого месторождения не перекрываются с характеристиками выборок из трубок Интернациональная и Ботуобинская. Положения двух независимых выборок трубки Ботуобинская также отличаются незначительно, как и положение двух независимых выборок трубки Интернациональная, что свидетельствует об информативности и воспроизводимости полученных результатов.

Расположение на этой диаграмме выборок алмазов из трубки Дачная показывает близость алмазов этого месторождения по своим параметрам к алмазам трубки Мир, что является единственным исключением для коренных источников Мирнинского поля.

Аналогичным образом были исследованы выборки алмазов из других кимберлитовых полей (Далдынского, Алакит-Мархинского, Накынского) и россыпей северной части Якутской алмазоносной провинции. Характеристики центров B_2 в алмазах рек Эбелях, Молодо, Тюнг существенно отличаются от алмазов известных коренных месторождений и разнятся между собой (рис.3). Примечательно, что алмазы бассейнов рек Молодо и Эбелях характеризуются большим количеством округлых кристаллов «уральского» («бразильского») типа [3]. Однако по параметрам полосы B_2 обнаруживается их кардинальное отличие от близких по морфологии алмазов из Бразилии, заключающееся в повышенных коэффициентах поглощения полосы B_2 , в то время как в алмазах из Бразилии полоса B_2 регистрируется очень редко [16].

На примере Мало-Ботуобинского района можно проследить, что для россыпей, определенно генетически связанных с известным коренным источником, как россыпи лог Хабардина и Горная – с трубкой Мир, усредненные значения параметров полосы поглощения B_2 оказываются очень близкими и не выходят за пределы вариаций характеристик выборок трубки Мир (рис.4).

При исследовании алмазов из древних погребенных россыпей, более удаленных от известных коренных источников – Солур, Западная, аллювиальных отложений р. Ма-

лая Ботуобия, выявляются отличия. Как видно на рис.4, выборки из россыпей Солур и Западная очень близки между собой и равноудалены от трубки Мир. Этот факт позволяет предполагать либо влияние на формирование россыпей множества коренных источников, включая неизвестные, либо некоторое изменение характеристик в процессе длительной эволюции ореолов рассеяния алмазов в экзогенных средах. В равной степени это относится к алмазам из аллювиальных отложений р. Малая Ботуобия, которые также имеют отличия по определяемым характеристикам от трубки Мир. При этом выборка р. Малая Ботуобия оказывается в стороне от выборок всех других исследованных объектов района. В частности, коэффициент поглощения полосы B_2 на 20-40 % больше, чем в выборках трубки Мир. Вероятно, основным источником питания для ореолов рассеяния данного района является трубка Мир, однако регистрируемые отличия характеристик алмазов из россыпей Мало-Ботуобинского района позволяют предполагать, что потенциал коренной алмазности территории не исчерпывается открытыми трубками.

Таким образом, в алмазах из близлежащих коренных месторождений Якутской алмазонасной провинции максимальные отличия среди характеристик, определяемых методом ИК-Фурье-спектроскопии, наблюдаются для средних значений коэффициента поглощения и положения максимума полосы B_2 . Этот факт является обоснованием для использования дополнительных характеристик при региональном районировании территорий по особенностям алмазов для поиска коренных месторождений.

Обсуждение результатов. Изучение параметров центров B_2 при сравнении алмазов из различных месторождений показывает их высокую информативность в общем перечне характеристик, определяемых методом ИК-Фурье-спектроскопии с целью минералогического районирования территорий и участков по алмазам. Степень агрегации азота определяется в основном температурой и длительностью естественного отжига, в то время как концентрация центров B_2 зависит от температуры роста алмазов, кон-

центрации азота и слабо изменяется во времени. Однако другой параметр – размер дефектов B_2 , определяющий положение максимума полосы поглощения, является сложной функцией концентрации азота, температуры роста и постростовой истории [2]. По-видимому, алмазы с близкой степенью агрегации азота образовались в близких или одинаковых условиях (трубки Мир, Интернациональная и Дачная), соответственно они близки и по распределениям азота в форме дефектов A и B_1 . При этом размер центров B_2 в алмазах трубки Интернациональная существенно меньше, чем в трубке Мир, следовательно, в постростовой период алмазы претерпели различные режимы отжига, а сами кимберлитовые тела формировались при различных условиях. Характеристики кристаллов слабоалмазонасных тел Мало-Ботуобинского района указывают на существенное отличие как в условиях роста кристаллов, так и в режимах постростового отжига. Повышенная степень агрегации азота свидетельствует о том, что алмазы трубок Амакинская и Таежная росли при большей температуре, чем кристаллы высокоалмазонасных трубок, при этом схожие концентрации примесного азота могут указывать на близость составов среды их кристаллизации. В то же время выборки из месторождений с уникальной алмазонасностью и качеством кристаллов – трубок Мир, Интернациональная, Ботуобинская – четко различаются между собой и занимают обособленную область на диаграмме $\alpha_{B_2} - \nu_{B_2}$, существенно отличаясь от выборок из других месторождений Якутии низким значением коэффициента поглощения полосы B_2 при положении ее максимума в наиболее длинноволновой области.

Выводы. Исследование алмазов из коренных и россыпных месторождения Якутии методом ИК-Фурье-спектроскопии показало, что максимальные отличия между независимыми выборками алмазов из разных месторождений наблюдаются для средних значений коэффициента поглощения и положения максимума полосы поглощения B_2 . Указанные параметры позволяют выявлять отличия алмазов не только из разных кимберлитовых полей, но в пределах одного поля и даже куста трубок, и

могут быть использованы при решении разноранговых алмазопоисковых задач.

Выявленное отличие алмазов из некоторых россыпей севера Якутской алмазоносной провинции от алмазов из других известных месторождений является дополнительным обоснованием целесообразности продолжения там поисков коренных источников алмазов. Сравнение выборок алмазов из аллювиальных отложений бассейна р. Малая Ботуобия с выборками из коренных месторождений Мало-Ботуобинского района позволяет предполагать существование неизвестных алмазоносных кимберлитовых тел.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Биленко Ю.М.* Содержание азота в алмазах Якутских месторождений // Геология и геофизика. 1979. № 7. С. 146-147.
2. *Васильев Е.А.* Зональность в алмазах кимберлитовой трубки Мир: данные ИК-Фурье спектроскопии / Е.А.Васильев, С.В.Сфронеев // ЗВМО. 2007. № 1. С. 90-101.
3. *Зинчук Н.Н.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы / Н.Н.Зинчук, В.И.Коптиль. М.: Недра, 2003, 603 с.
4. *Клюев Ю.А.* Сравнительная характеристика алмазов из разных месторождений / Ю.А.Клюев, В.И.Смирнов, В.И.Непша // Алмазы и сверхтвердые минералы. 1979. № 11. С. 2-4.
5. *Макарский И.В.* Определение азотных дефектов в алмазах по ИК спектрам / И.В.Макарский, Е.А.Васильев, О.Ю.Данилова // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж: Изд-во Воронежск. гос. ун-та. 2001. С. 397-401.
6. Превращение оптически активных центров в синтетических алмазах под действием температуры / Ю.А.Клюев, А.М.Налетов, В.И.Непша и др. // Журн. физ. кристаллогр. 1982. Т.56, № 3, С. 524-531.
7. Природные и синтетические алмазы / Г.Б.Бокий, Г.Н.Безруков, Ю.А.Клюев и др. М.: Наука, 1986. 222 с.
8. *Соболев Е.В.* О пластинчатых образованиях в структуре природных алмазов / Е.В.Соболев, С.В.Ленская, В.И.Лисойван // Журн. структурн. химии. 1968. Т.9, № 6, С. 1029-1033.
9. *Хачатрян Г.К.* Типоморфизм алмазов Якутии по данным ИК-спектроскопии // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы акционерной компании «АЛРОСА». Современное состояние, перспективы решения / ЯНИГП ЦНИГРИ. Мирный; 2003. С. 322-326.
10. *Allen B.P.* Aggregation of nitrogen in diamond, including platelet formation / B.P.Allen, T.Evans // Proc. R. Soc. Lond, A, 1981. V. 375. P. 93-104.
11. *Boyd S.R.* The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond / S.R.Boyd, I.Kiflawi, G.S.Woods // Phil. Mag. B, 1994. V.69. P. 1149-1153.

12. *Boyd S.R.* Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond / S.R.Boyd, I.Kiflawi, G.S.Woods // Phil. Mag. B, 1995, V.72. P. 351-361.

13. Carbon and nitrogen isotope systematics within a sector-growth diamond from the Mir kimberlite, Yakutia / G.P.Bulanova, D.G.Pearson, E.H.Hauri e.a. // Chem. Geol. 2002. V.188. P. 105-123.

14. Extended defects in diamond: the interstitial platelet / J.P.Goss, B.J.Coomer, R.Jones e.a. // Phys. Rev. B, 2003. V.67. P.art. № 165208.

15. *Kaminsky F.V.* Characteristics of nitrogen and other impurities in diamond, as revealed by infrared absorption data / F.V.Kaminsky, G.K.Khachatryan // Canad. Mineralogist. 2001. V. 39. P. 1733-1745.

16. *Kaminski F.V.* Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grosso / F.V.Kaminski, O.D.Zakharchenko, R.Davies // Contrib. Mineral. Petrol. 2001. V.140. P. 734-753.

17. *Mendellsohn M.J.* Geologically significant information from routine analysis of mid-IR spectrums of diamonds / M.J.Mendellsohn, H.J.Milledge // Int. Geol. Rev. 1995. V.37. P. 95-110.

18. *Taylor W.R.* Nitrogen-defect aggregation characteristics of some Australian diamonds: time-temperature constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds / W.R.Taylor, A.L.Jaques, M.Ridd // Am. Mineral., 1990. V.75. P. 1290-1310.

REFERENCES

1. *Bilenko Yu.M.* Content of nitrogen in diamonds of Yakutia deposits // Geology and geophysics. 1979. No.7, pp.146-147.
2. *Vasiliev E.A.* Zonality in diamonds of kimberlite pipe Mir: data of IK-Furie spectroscopy / E.A.Vasiliev, S.V.Safroneev // Proc. BMO, 2007, No.1, pp.90-101.
3. *Zinchuk N.N.* Typomorphism of diamonds of the Siberian platform / N.N.Zinchuk, V.I.Koptil // M.: Nedra, 2003. 603 p.
4. *Kluev Yu.A.* Comparative characteristic of diamonds from different deposits / Yu.A.Kluev, V.I.Smirnov, V.I.Nepsha // Diamonds and superhard minerals.
5. *Makarsky I.V.* Determination of nitrogen defects in diamonds by IK-spectrum / I.V.Makarsky, E.A.Vasiliev, O.Yu.Danilova // Problems in diamond geology and some ways for their solution. Voronezh. Publ. Voron. State Univers. 2001, pp.397-401.
6. Transition of optically active centers in synthetic diamonds under action of temperature / Yu.A.Kluev, A.M.Naletov, V. I. Nepsha et al // J. Phys. Crystallog. 1982. Vol.56, No.3, pp.524-531.
7. Natural and synthetic diamonds / G.B.Bokiy, G.N.Bezrukov, Yu.A.Kluev et al // M.: Nauka, 1986. 222 p.
8. *Sobolev E.V.* On lamellar formations in the structure of natural diamonds / E.V.Sobolev, S.V.Lenskaya, V.I.Lisoivan // J. Struct. Chemistry. 1968, Vol.9, No.6, pp.1029-1033.
9. *Khachatryan G.K.* Typomorphism of the Yakutia diamonds by data of IK-spectroscopy // Geological aspects of raw material resources base of the ALROSA C. Present-day state, prospects, solutions. YANIGP CNIGRI, Mirny, 2003, pp.322-326.

10. *Allen V.P.* Aggregation of nitrogen in diamond, including platelet formation / V.P.Allen, T.Evans // Proc. R. Soc. Lond. A. 1981. Vol.375, pp.93-104.
11. *Boyd S.R.* The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // S.R.Boyd, I.Kiflavi, G.S.Woods // Phil. Mag. B, 1994. Vol.69, pp.1149-1153.
12. *Boyd S.R.* Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond. / S.R.Boyd, I.Kiflavi, G.S.Woods // Phil. Mag. B, 1995. Vol.72, pp.351-361.
13. Carbon and nitrogen isotope systematics within a sector-growth diamond from the Mir kimberlite, Yakutia / G.P.Bulanova, D.G.Pearson, E.H.Hauri e.a. // Chem. Geol. 2002, Vol.188, pp.105-123.
14. Extended defects in diamond: the interstitial platelet / J.P.Goss, V.J.Coomer, R.Jones et al // Phys. Rev. B, 2003. Vol.67. P. art. No. 165208.
15. *Kaminsky F.V.* Characteristics of nitrogen and other impurities in diamond, as revealed by infrared absorption data / F.V.Kaminsky, G.K.Khachat-ryan // Canad. Mineralogist. 2001. Vol.39, pp.1733-1745.
16. *Kaminsky F.V.* Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grosso / F.V.Kaminsky, O.D.Zakhachenko, R.Davies // Contrib. Mineral. Petrol., 2001, Vol.140, pp.734-753.
17. *Mendellsohn M.I.* Geologically significant information from routine analysis of mid-IR spectrums of diamonds / M.J.Mendellsohn, H.J.Milledge // Int. Geol. Rev. 1995. Vol.37, pp.95-110.
18. *Taylor W.R.* Nitrogen-defect aggregation characteristics of some Australian diamonds: time-temperature constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds / W.R.Taylor, A.L.Jaques, M.Ridd // Am. Mineral. 1990. Vol.75, pp.1290-1310.