

Е.А.ВАСИЛЬЕВ, ведущий инженер, *simphy@mail.ru*

А.В.КОЗЛОВ, д-р геол.-минерал. наук, профессор, *akozlov@spmi.ru*

Ю.В.НЕФЕДОВ, аспирант, *yurijnefedov@yandex.ru*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

В.А.ПЕТРОВСКИЙ, д-р геол.-минерал. наук, профессор, *petrovskiy@geo.comisc.ru*

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

E.A.VASILYEV, leading engineer, *simphy@mail.ru*

A.V.KOZLOV, Dr. in geol. & min. sc., professor, *akozlov@spmi.ru*

Y.V.NEFEDOV, post-graduate student, *yurijnefedov@yandex.ru*

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

V.A.PETROVSKIY, Dr. in geol. & min. sc., professor, *petrovskiy@geo.comisc.ru*

Institute of Geology of the Komi NTs UrO RAN, Syktyvkar

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛМАЗОВ АНАБАРА, БРАЗИЛИИ И УРАЛА МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Исследованы коллекции уральских, анабарских и бразильских алмазов методом инфракрасной спектроскопии. Для реконструкции термических условий их формирования построены диаграммы В.Тейлора с рассчитанными изотермами. Построены диаграммы распределения В2-дефектов, Н-центров. Сделаны выводы о различных термических условиях формирования алмазов и их возможной приуроченности к морским россыпям.

Ключевые слова: алмаз, месторождение, Урал, Бразилия, Анабар, инфракрасная спектроскопия, азот, условия образования.

COMPARATIVE ANALYSIS OF URALIAN, ANABAR AND BRAZILIAN DIAMONDS BY INFRARED SPECTROMETRY METHOD

Uralian, Anabar, and Brazilian diamond collections were studied by infrared spectrometry method. For reconstruction of thermal conditions of diamond formation were plotted Taylor Wayne diagrams with calculated isothermal curves. Diagrams of B2-defects distribution and H-centres were done. The conclusion about thermal formation conditions and possible belonging to the sea stream gravels were done.

Key words: diamond, deposit, Ural, Brazil, Anabar, infrared spectrometry, defects, formation conditions.

Округлые кристаллы алмаза додекаэдрического габитуса часто выделяют в особый – «уральский» морфологический тип. Наиболее характерные для этого типа кристаллы были обнаружены на территории Бразилии и Урала, поэтому В.П.Афанасьев определил данный тип алмазов как «уральско-бразильский» [4]. Эти кристаллы характеризуются преобладанием додекаэдров

(70-90 %) при резко подчиненном количестве комбинационных форм (6-15 %), октаэдров (1-2 %) и кубов [3]. Кристаллы данного типа широко распространены в алмазонасных провинциях мира, доминируют в россыпях Индии, Бразилии, Южной Африки (Витватерсранд), а также в россыпях Сьерра-Леоне, Алжирской Сахары, Австралии и многих других регионов. На территории

России именно такие алмазы преобладают в россыпях Урала, Присянья и севера Сибирской платформы (бассейн р. Анабар). Как россыпные они имеют повышенную среднюю массу и высокую долю кристаллов ювелирного качества. Коренные источники алмазов «уральского типа» с соответствующей россыпям алмазоносностью до сих пор не обнаружены. Такая ситуация обусловлена как геологическими особенностями алмазоносных провинций, так и возможными геолого-генетическими особенностями искоемых коренных месторождений [2]. Сравнительный анализ структурно-минералогических характеристик кристаллов «уральского» типа из россыпей различных регионов важен для понимания особенностей их образования и постростовых изменений.

Для выявления структурно-минералогических особенностей исследованы алмазы из трех регионов: Урала (91 кристалл), Бразилии, штат Минас-Жерайс (131 кристалл) и Анабара (30 кристаллов). Исследование проводилось на спектрометре Vertex 70 с ИК-микроскопом Nupregion1000 с разрешением 4 см^{-1} при усреднении от 32 до 500 сканов. Спектры оптической плотности (а) в диапазоне волновых чисел ν от 600 до 4000 см^{-1} нормировали по собственному двухфононному поглощению. Концентрацию азота N_{tot} вычисляли с использованием программы визуального подбора по эталонным спектрам поглощения А, В1 и С (программист О.Е.Ковальчук), по известным коэффициентам пропорциональности [5, 6]. Относительные погрешности определения концентраций дефектов А и В1 составили до 10 % в зависимости от формы, толщины, наличия включений, качества поверхности. Помимо концентрации дефектов А и В1, определяли коэффициент поглощения полосы В2 и положение ее максимума, коэффициент поглощения полосы составил 3107 см^{-1} .

Известно, что степень агрегации азотных дефектов В1 зависит от содержания азота в алмазе, температуры и длительности нахождения при данной температуре. Эти параметры обычно анализируют с использованием диаграммы Тейлора, отражающей зависимость между концентрацией азота и

степенью агрегации азотных дефектов [9]. Для каждой из выборок были построены диаграммы Тейлора (рис.1). Среднее атомарное содержание азота и степень агрегации, среднее значение коэффициента поглощения полосы В2 соответственно составляет: для алмазов Бразилии 0,04 %; 4 % и $6,4 \text{ см}^{-1}$; кристаллов Анабара – 0,05 %; 45 % и $6,1 \text{ см}^{-1}$; кристаллов Урала – 0,09 %; 37 % и $11,1 \text{ см}^{-1}$.

Как видно из рис.1, а, алмазам Бразилии соответствует широкий диапазон температурных условий и они значительно отличаются как по концентрации азота, так и по степени агрегации азотных дефектов. На диаграмме представлены все температурные диапазоны формирования азотных дефектов, причем распределение по полю достаточно равномерное, обособленные группы по проанализированным параметрам не выделяются. Далее сравнивали спектры оптической плотности двух кристаллов из данной выборки, демонстрирующие разброс значений концентрации азота и степени агрегации азотных дефектов (рис.2.) В спектре кристалла mjd1122 отмечается только система А, отсутствуют полосы В1 и В2, в то время как в кристалле mgd1058 отмечается только система В1, что указывает на кардинальные отличия в их термической истории. Эти кристаллы представляют крайние случаи трансформации азотных дефектов в ряду А-В1 и В2, их представление на диаграмме не может адекватно отражать соответствующую температуру. Значительный разброс температур формирования указывает на множественность коренных источников. По-видимому, в генетическом аспекте россыпи можно рассматривать как прибрежно-морские, для которых эта особенность типична.

Примечательно, что основная масса кристаллов Бразилии обладает близким и почти предельным соотношением концентраций центров В1 и В2 [1] (рис.3). Однако часть кристаллов не имеет системы В2, что говорит о разрушении этих дефектов вследствие естественного отжига при относительно повышенной температуре [7], причем в промежуточной области точек нет.

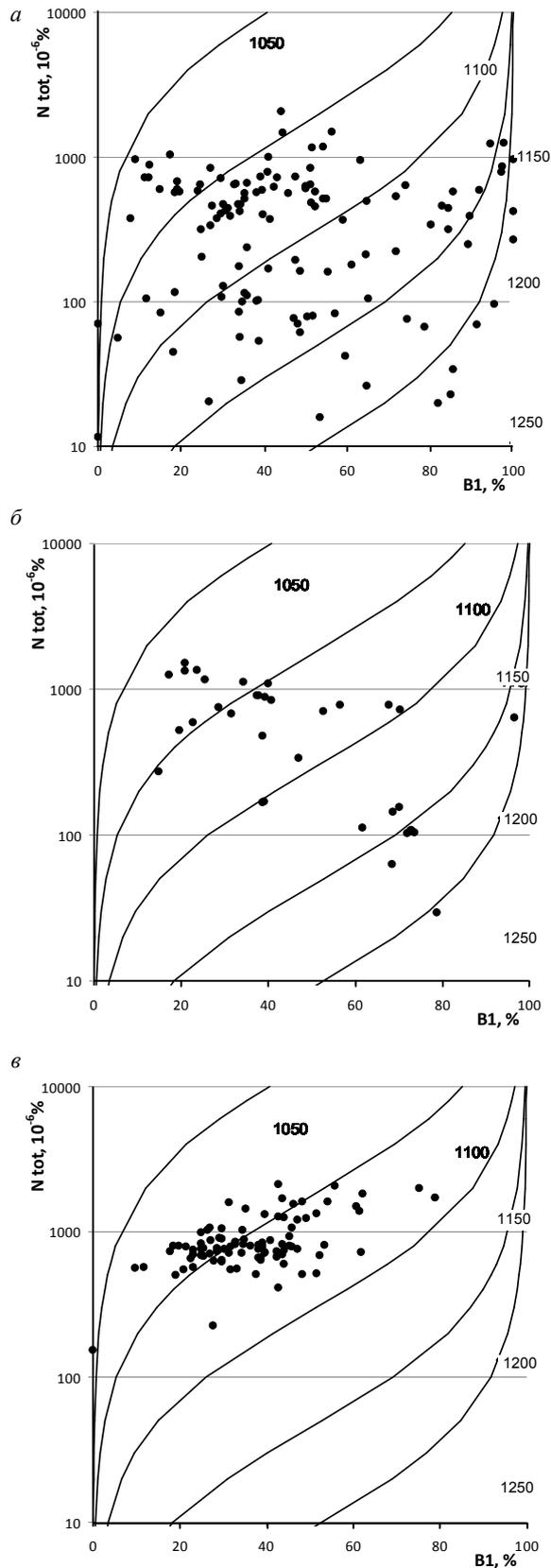


Рис.1 Диаграммы Тейлора, рассчитанные по результатам измерений алмазов Бразилии (а), Анабара (б), Урала (в)

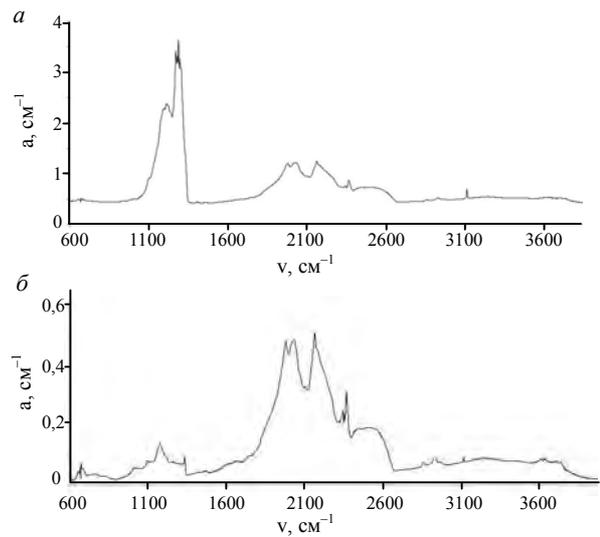


Рис.2 Спектры оптической плотности двух кристаллов, характеризующиеся максимальным разбросом значений концентрации азота и степени агрегации азотных дефектов: mjd1122 (а) и mgd1058 (б)

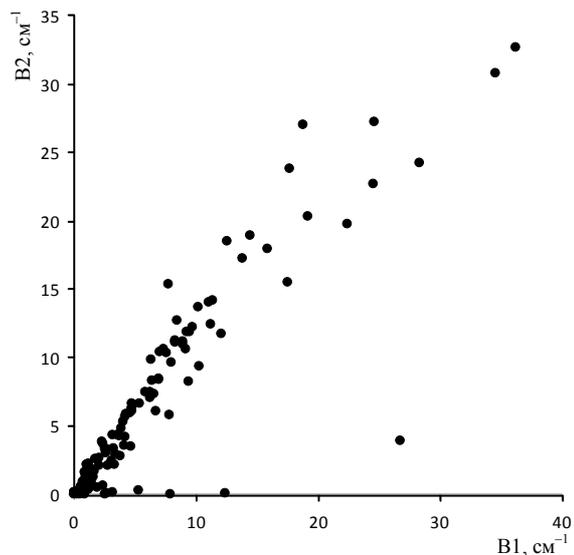


Рис.3. Распределение коэффициентов поглощения систем B1 и B2 для выборки из Бразилии

Алмазы без системы B2 характерны для группы со «сверхглубинным» происхождением, на что указывает анализ включений [8]. Обнаружение таких кристаллов свидетельствует о полигенности россыпи.

Выборка анабарских алмазов также характеризуется значительным разбросом температур формирования, однако диапазон изменения общей концентрации азота меньше, чем в бразильских кристаллах. Эти алмазы можно условно разделить на две

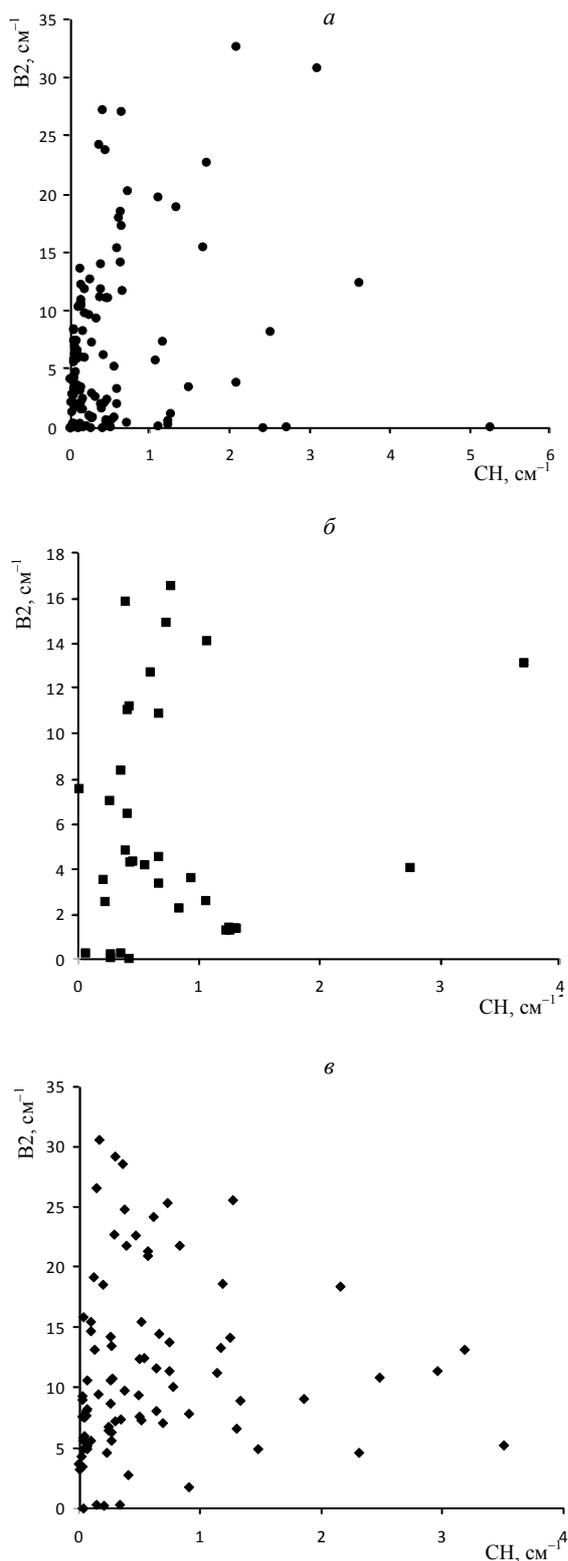


Рис.4. Графики зависимости между концентрацией B2 дефектов и концентрацией водорода CH, рассчитанные по результатам измерений алмазов Бразилии (а), Анабара (б), Урала (в)

группы, близкие соответственно к изотермам 1100 и 1200 °С. Наиболее компактно на диаграмме расположены кристаллы Урала (см. рис.1, в), им соответствует менее широкий интервал температур, нежели алмазам Бразилии и Анабара, однако образцы разделяются на две группы по концентрации азота меньше и больше 0,1 %. Анализ их географической привязки показал, что в первую группу (> 0,1 %) вошли кристаллы, найденные на территории Сев. Колчима, вторая группа включает в себя остальные представленные в коллекции месторождения и места находок кристаллов, а именно Медведкинскую россыпь, золотые россыпи р. Кочкарки, Петровско-Троицкий рудник, россыпи р. Каменка, р. Полуденка, Крестовоздвиженские промыслы, россыпи русла р. Тыпыл, месторождение Баландин Лог, Шуваловский платиновый прииск, месторождение Лог № 3.

Как видно из графиков зависимости между концентрацией B2 дефектов и концентрацией водорода (рис.4), среди кристаллов Анабара как максимальное, так и среднее по выборке значение коэффициента поглощения системы B2 вдвое меньше, чем кристаллов Бразилии и Урала, что может свидетельствовать об их более длительном отжиге.

Итак, в ходе исследования было установлено, что изученные кристаллы Урала, Бразилии и Анабара характеризуются широким диапазоном содержания азотных дефектов и степени агрегации азота, что на основании диаграммы Тейлора свидетельствует о большом интервале температурных условий их формирования.

Установленный значительный разброс значений температур формирования алмазов можно рассматривать как свидетельство множественности коренных источников. Выделенная среди кристаллов Бразилии группа соответствует алмазам сверхглубинного происхождения.

Работа проведена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Васильев Е.А.*, К исследованию агрегации азота в природных алмазах / Е.А.Васильев, И.Н.Богущ // Сб. тр. конф. «EURASTRENCOLD-2004». Якутск, 2004. С.215-223.
2. *Граханов С.А.* Особенности формирования и закономерности размещения россыпей алмазов северо-востока Сибирской платформы: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Якутск, 2007. 40 с.
3. *Милашев В.А.* Морфотипы кристаллов и проблемы коренных источников алмаза в европейской части России // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003. С.235-237.
4. Полигенез алмазов Сибирской платформы / В.П.Афанасьев, С.С.Лобанов, Н.П.Похиленко, В.И.Коптиль, С.И.Митюхин, А.В.Герасимчук, Б.С.Помазанский, Н.И.Горев // Геология и геофизика. 2011. Т.52. № 3. С.335-353.
5. *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. V.69. P.1149-1153.
6. *Boyd S.R.* Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond / S.R.Boyd, I.Kiflavi, G.S.Woods // Phil. Mag. B. 1995. V.72. P.351-361.
7. Extended defects in diamond: The interstitial platelet / J.P.Goss, B.J.Coomer, R.Jones and C.J.Fall // Phys. Rev. 2003. Ser. B. V.67. P.165208: 1-15.
8. *Kaminski F.V.* Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grosso // Contrib. Mineral. Petrol. 2001. V.140. P.734-753.
9. *Taylor W.R.* Nitrogen-defect aggregation characteristics of some Australian diamonds: time-temperature

constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds // Am. Mineral. 1990. V.75. P.1290-1310.

REFERENCES

1. *Vasilyev E.A., Bogush I.N.* Researching of nitrogen aggregation in natural diamonds / //Materials of conf. «EURASTRENCOLD-2004». Yakutsk. 2004. P.215-223.
2. *Grahanov S.A.* Formation features and patterns of distribution of alluvial diamonds north-eastern Siberian platform // Research paper...Dr. in geol. & min. sc. Yakutsk, 2007. 40 p.
3. *Milashev V.A.* Morphotypes of crystals and problem of it's original source in European part of Russia // Problems of forecasting, searching and studying of mineral deposits in XXI century. Voronezh, 2003. P.235-237.
4. *Afanas'ev V.P., Lobanov S.S., Pokhilenko N.P., Koptil V.I., Mityukhin S.I., Gerasimchuk A.V., Pomazanskii B.S., Gorev N.I.* Polygenesis of diamonds in the Siberian platform // Geology and geophysics. 2011. V.52. N.3. P.335-353.
5. *Boyd S.R., Kiflavi I., Woods G.S.* The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // Phil. Mag. B. 1994. V.69. P.1149-1153.
6. *Boyd S.R., Kiflavi I., Woods G.S.* Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // Phil. Mag. B. 1995. V.72, P.351-361.
7. *Goss J.P., Coomer B.J., Jones R. and Fall C.J.* Extended defects in diamond: The interstitial platelet // Phys. Rev. 2003. Ser. B. V.67. P. 165208: 1-15.
8. *Kaminski F.V.* Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grosso //Contrib. Mineral. Petrol. 2001. V.140. P.734-753.
9. *Taylor W.R.* Nitrogen-defect aggregation characteristics of some Australian diamonds: time-temperature constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds // Am. Mineral. 1990. V.75. P.1290-1310.