УДК 535.343.2

Ю.В.НЕФЕДОВ, *магистрант, yurijnefedov@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

Y.V.NEFEDOV, *undergraduate student, yurijnefedov@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ИССЛЕДОВАНИЕ УРАЛЬСКИХ АЛМАЗОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Исследована коллекция уральских алмазов Горного музея методом инфракрасной спектрометрии. Для реконструкции термических условий формирования кристаллов алмазов построены диаграммы В.Тейлора с рассчитанными изотермами. Построены диаграммы распределения B_2 дефектов. Проанализирована географическая привязка алмазов. Сделаны выводы о термических условиях формирования уральских алмазов и их возможной приуроченности к морским россыпям.

***Ключевые слова*:** алмазы Урала, метод инфракрасной спектрометрии, азотные дефекты, степень агрегации азота, термические условия образования.

ANALYSIS OF URALS DIAMONDS BY INFRARED SPECTROMETRY METHOD

Collection of Urals diamonds from Mining museum was studied by infrared spectrometry method. For thermal conditions reconstruction of diamond formation were constructed Taylor Wayne diagrams with calculated isothermal curves. Diagram of B_2 defects distribution was done. Analyzed geographical location of diamonds. The conclusion about thermal formation conditions and possible belonging to the sea stream gravels were done.

***Key words*:** Urals diamonds, infrared spectrometry method, nitrogen defects, nitrogen aggregating level, thermal formation conditions.

Интерес к уральским алмазам не иссякает с давних пор. Ряд исследователей считает источниками алмазов в мезо-кайнозойских россыпях исключительно промежуточные коллекторы, в то время как другие, признавая факт питания современных россыпей из промежуточных коллекторов, допускают наличие в районе коренных первоисточников [5]. Не менее важной моделью образования уральских алмазов является модель о флюидизатно-эксплозивных брекчиях (туффизитовая модель), согласно которой первоисточником алмазов является сама брекчия, и проблема отслеживания переноса кристаллов и поиска удаленного источника исчерпана. Таким образом, источники образования уральских алмазов до сих пор не определены [6] и уральские россыпи стоят в одном ряду с россыпями, коренные источники которых также проблематичны (Бразилия и Анабарский район).

Актуальность исследования определяется необходимостью выявления новых типоморфных особенностей кристаллов алмазов уральских россыпей, поскольку известные их характеристики не позволяют решить вопрос о природе их коренного источника. Целью исследования является выявление специфических особенностей кристаллов алмаза уральских алмазоносных проявлений.

Исследование проводилось в два этапа:

1. Макроскопический анализ, в результате которого определялась представительность входящей в коллекцию выборки кристаллов.

2. Определение содержания азота, типа и концентрации азотных и других структурных дефектов в кристаллах алмаза методом инфракрасной спектроскопии.

В ходе макроскопического анализа было установлено, что алмазы коллекции были представлены преимущественно кривогранными монокристаллами изометричной или уплощенной формы. Распределение изученных кристаллов по форме следующее, шт.: додекаэдроиды 48, тетрагексаэдры 36, гексоктаэдрического облика 1, двойниковые кристаллы 3.

Сопоставление полученных результатов и данных ряда атласов морфологии алмазов [1, 4, 8] позволяет говорить об идентичности кристаллов, представленных в выборке, типичным кристаллам Урала [3], что в свою очередь позволяет распространить результаты дальнейшего исследования на все уральские алмазы.

Метод инфракрасной (ИК) спектрометрии основан на селективном поглощении электромагнитного излучения кристаллической структурой изучаемого вещества [7]. ИК-спектры содержат информацию о структуре, составе и поэтому являются специфичными для различных соединений и кристаллических веществ. По числу и положению пиков поглощения в ИК-спектре можно судить о природе вещества (качественный анализ), а по интенсивности полос поглощения – о количестве вещества (количественный анализ) [2].

Главной примесью в кристаллах алмаза является азот. Концентрация азота может составлять 0,2 at.ppm. В процессе образования алмаза происходит захват отдельных атомов азота. В зависимости от температурных и временных условий атомы азота могут быть агрегированы в виде А (рис.1, *б*) и B_1 (рис.1, *в*) дефектов.

Помимо перечисленных азотных дефектов в алмазе встречается углеродный дефект B_2, образуемый посредством смещения атомов углерода (рис.2).

Исследование производилось в лаборатории СПГГУ на спектрометре Vertex 70 с ИК-микроскопом Hyperion 1000.

Известно, что степень агрегации азотных дефектов зависит от содержания азота в алмазе, температуры и длительности его нахождения при данной температуре. Эти параметры обычно анализируют с использованием диаграммы Тейлора, которая отражает зависимость между концентрацией азота и степенью агрегации азотных дефектов [11]. Полученные данные были нанесены на диаграмму (рис.3).

Для дальнейшей дифференциации данных были построены гистограммы распределения по водороду и азоту. Гистограмма распределения по величине азота (рис.4) показала двухфазное распределение, согласно которому производилось дальнейшее разделение данных. Исследуемые образцы были разделены на две группы: по величине концентрации азота менее 1000 и

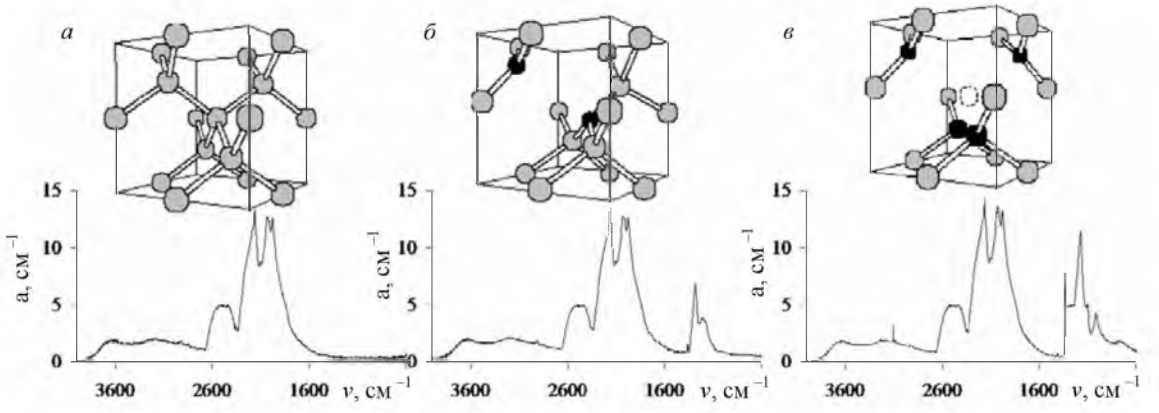


Рис.1. Структура, не содержащая азотных дефектов (*а*), структуры А (*б*) и B_1 (*в*) дефектов, а также спектры, характеризующие данные азотные дефекты [9]

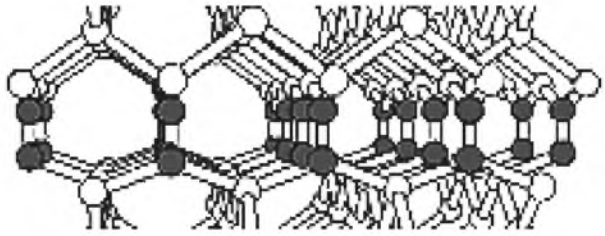
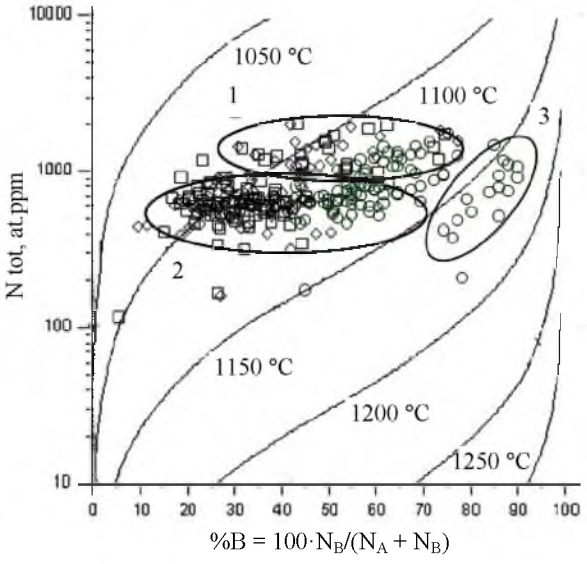


Рис.2. Модель дефекта B_2.
Серые кружки – смещенные атомы углерода [9]



○ Кристаллы коллекции ВСЕГЕИ (Красно-Вишерские)
◇ Кристаллы Горного музея. Центры кристаллов
□ Кристаллы Горного музея. Периферии кристаллов

Рис.3. Дифференциация полученных результатов исследования по величине концентрации азота на группы 1, 2 и 3

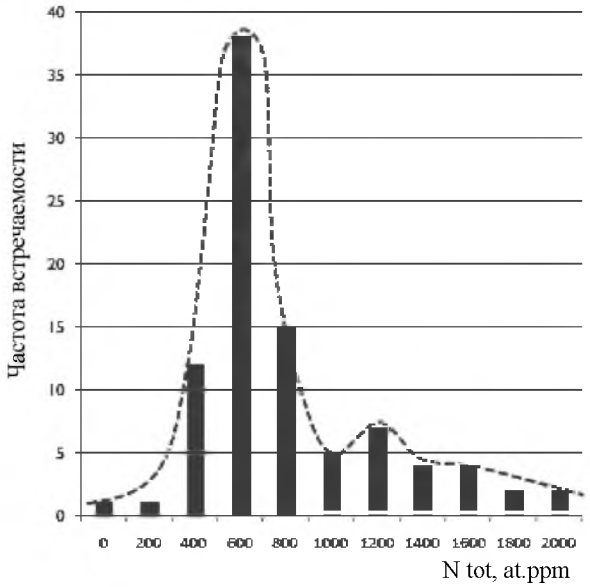


Рис.4. Гистограмма распределения по величине азота

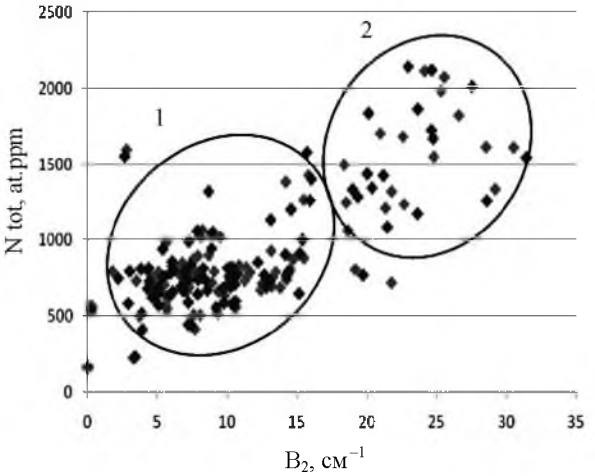


Рис.5. Диаграмма распределения B_2-дефектов

более 1000 at.ppm. После этого была проанализирована их географическая привязка. В первую группу (> 1000 at.ppm) вошли кристаллы, найденные исключительно на территории Северного Колчима. Вторая группа включает все остальные представленные в коллекции месторождения и места находок кристаллов: Медведкинскую россыпь, золотые россыпи р.Кочкарки, Петровско-Троицкий рудник, россыпи р.Каменка, р.Полуденка, Крестовоздвиженские промыслы, россыпи русла реки Тыпыл, месторождение Баландин Лог, Шуваловский платиновый прииск, месторождение Лог № 3. Также во второй группе присутствует группа кристаллов, найденных на территории Северного Колчима.

На построенную диаграмму были нанесены данные исследования Е.А.Васильева коллекции алмазов ВСЕГЕИ. Как видно из приведенной диаграммы, использование сторонних материалов исследований не противоречит разделению на две вышеуказанные группы. Мало того, явно проявляет-

ся более высокотемпературная группа № 3 Красно-Вишерских кристаллов (см. рис.3).

Для подтверждения полученных результатов была построена диаграмма распределения B_2-дефектов (рис.5). Было предложено разделить исследуемые образцы на две группы по коэффициенту поглощения B_2-дефекта. Результат практически полностью дублировал дифференциацию кристаллов по концентрации азота.

Также было привлечено исследование Ф.В.Каминского [10] (рис.6), который нанес на диаграмму Тейлора распределение архангельских, якутских, бразильских и африканских алмазов. Как видно из приведенной диаграммы, данные алмазы имеют узкие температурные интервалы распространения. В то время как уральские алмазы, напротив, – широкий температурный интервал распространения. Это говорит о том, что алмазы могут быть приурочены к морским россыпям, которые питаются из разных источников.

Для определения условий образования кристаллов был построен комбинированный график Тейлора с вынесенными на него точками замеров в центральной и периферийной частях (рис.7). На график была нанесена выборка из 12 кристаллов. Как видно из графика, исходные теоретические представления о росте кристаллов и преобразовании дефектов кристаллической структуры подтверждаются полученными результатами. Температура образования центра кристалла превышает температуру кристаллизации периферийной части, а векторы, показывающие направление изменения характеристик образования, либо направлены в сторону понижения температуры, либо сами ложатся на изотерму. Таким образом, при росте кристаллов могло происходить как снижение температуры, так и изменение состава среды.

Итак, явное разделение по величине концентрации азота, а также концентрации других структурных дефектов позволяет в совокупности с другими методами исследования использовать метод ИК-спектроскопии для географического определения места происхождения коллекции кристаллов алмаза.

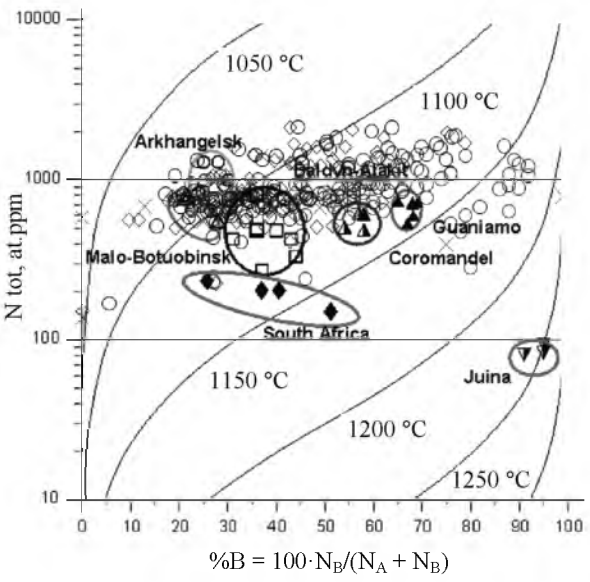


Рис.6. Температурные интервалы распределения архангельских, якутских, бразильских, африканских и уральских алмазов [10]

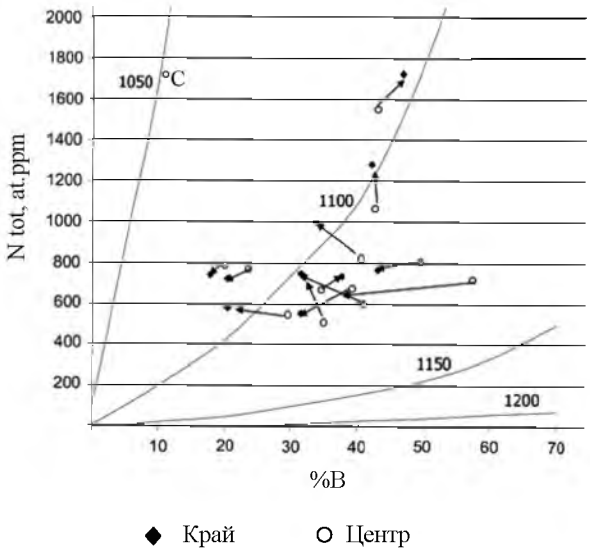


Рис.7. Комбинированный график Тейлора

Выводы

1. Исследованные кристаллы алмаза характеризуются широким диапазоном содержания примеси азота и степени его агрегации. Диаграмма Тейлора свидетельствует о большом интервале температурных условий их формирования.

2. Установленный значительный разброс температур формирования алмазов можно рассматривать, как свидетельство множественности источников их попадания в место их настоящего нахождения, которое в генетическом аспекте можно рассматривать в качестве прибрежно-морской россыпи, для которых эта особенность типична.

3. В процессе роста кристалла отмечается выраженное понижение температуры от центра к краю.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас морфологии алмазов России / В.П.Афанасьев, Э.С.Ефимова, Н.Н.Зинчук, В.И.Коптиль. Новосибирск, 2001. С.47-53.

2. *Васильев Е.А.* К исследованию агрегации азота в природных алмазах / Е.А.Васильев, И.Н.Богуш // Сборник трудов конф. «EURASTRENCOLD 2004». Якутск. 2004. С.215-223.

3. *Зинчук Н.Н.* Типоморфизм алмазов из пород Рассольнинской депрессии (Урал) в связи с проблемой их первоисточников / Н.Н.Зинчук, В.И.Коптиль // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещания. Сыктывкар, 2001. С.146-147.

4. *Кухаренко А.А.* Алмазы Урала. М., 1955. 516 с.

5. Коренные источники алмазов на Урале / Л.И.Лукьянова, Л.П.Лобкова, А.М.Мареичев и др. // Региональная геология и металлогения. 1997. № 7. С.88-97.

6. *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.

7. Природные алмазы России: Справочник / П.П.Вечерин, В.В.Журавлев, Ю.А.Клюев и др. / Под ред. В.Б.Кваскова. М., 1997. 304 с.

8. *Ферсман А.Е.* Кристаллография алмаза. М., 1955. С.329-418.

9. *Goss J.P., Coomer B.J., Jones R., Fall C.J.* Extended defects in diamond: The interstitial platelet // Phys. Rev. 2003. Ser.B. Vol.67. P.165-208.

10. *Kaminski F.V.* Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grossu // Contrib. Mineral. Petrol. 2001. Vol.140. P.734.

11. *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. Vol.75. P.1290-1310.

REFERENCES

1. *Afanasiev V.P., Efimova E.S., Zinchuk N.N., Koptil V.I.* Morphology atlas of Russian diamonds. Novosibirsk, 2001. P.47-53.

2. *Vasilyev E.A., Bogush I.N.* Researcing of nitrogen aggregation in natural diamonds // Materials of conf. «EURASTRENCOLD 2004». Yakutsk, 2004. P.215-223.

3. *Zinchuk N.N., Koptil V.I.* Tipomorphism of diamonds from mountain breeds of Rassolninskaya (Urals) in connection with problem of it's source // Diamonds and diamantiferous of Timano-Pecherskiy region: Materials All-Russian conference. Siktivkar, 2001. P.146-147.

4. *Kuharenko A.A.* Diamonds of Urals. Moscow, 1955. 516 p.

5. *Lukyanova L.I., Lobkova L.P, Mareichev A.M.* et al. Urals original sources of Diamonds // Regional geology and metallogeny. 1997. N 7. P.88-97.

6. *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. Voronez, 2003. P.235-237.

7. *Vecherin P.P., Zuravlev V.V., Kluev U.A.* et al. Natural diamonds of Russia: scientific publication / Edited by V.B.Kvaskov. Moscow, 1997. 304 p.

8. *Fersman A.E.* Crystallography of diamond. Moscow, 1955. P.329-418.

9. *Goss J.P., Coomer B.J., Jones R., Fall C.J.* Extended defects in diamond: The interstitial platelet // Phys. Rev. 2003. Ser.B. Vol.67. P.165-208.

10. *Kaminski F.V.* Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grossu // Contrib. Mineral. Petrol. 2001. Vol.140. P.734.

11. *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. Vol.75. P.1290-1310.

Научный руководитель д-р геол.-минерал. наук, профессор *А.В.Козлов*