

И.Н. БОГУШ, Н.О. СВИРИДОВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВОИСТОЧНИКА АЛМАЗОВ ПО ДАННЫМ ИК СПЕКТРОСКОПИИ

Для коренных месторождений выявлены соотношения основных A -, B_1 -, B_2 -дефектов кристаллической структуры и положение алмазов в многомерном пространстве коэффициентов поглощения основных полос или концентраций азота в форме этих центров. Разработаны математический и программный аппараты, позволяющие получать вероятностные модели различных объектов, выделять кимберлитовые тела с близкими по физическим свойствам кристаллами и определять принадлежность единичных находок с определенной долей вероятности тому или иному месторождению, а также прогнозировать новые источники.

В настоящее время повышение эффективности прогнозно-поисковых работ на алмазы связано прежде всего с совершенствованием методики поиска «алмазов по алмазам». Алмазы являются наиболее устойчивыми в экзогенных условиях по сравнению с минералами-спутниками и характеризуются широким комплексом типоморфных кристалломорфологических и физико-химических особенностей. Для определения принадлежности россыпных алмазных проявлений к коренным первоисточникам, прогнозирования уровня их потенциальной алмазоносности широко используются внешняя морфология индивидов и содержание в них примесного азота [1, 2, 6]. Однако на практике часто возникают проблемы с представительностью, корректностью выборки образцов из россыпей для построения достоверных статистических распределений и проведения сравнительного анализа. К тому же все известные месторождения Сибирской платформы характеризуются существенным преобладанием алмазов октаэдрического, ромбодекаэдрического и переходного между ними габитусов [3]. Разброс значений содержания азота в той или иной форме в алмазах находится в близких диапазонах (рис. 1). Эти факты не всегда позволяют устанавливать принадлежность единичных находок к их первоисточнику. Необходим новый подход для определения такой принадлежности кристаллов, основанный на использовании их нескольких оптического-спектральных характеристик.

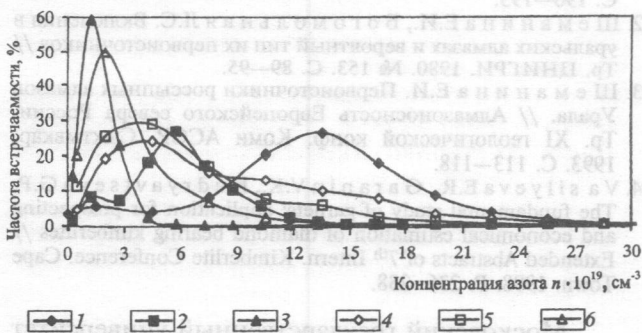


Рис. 1. Распределение алмазов из трубок Мир и Юбилейная по содержанию азота в формах A -, B_1 -, B_2 -дефектов: трубка Мир: 1 — A ; 2 — B_1 ; 3 — B_2 ; трубка Юбилейная: 4 — A ; 5 — B_1 ; 6 — B_2

В природных алмазах основными формами вхождения азота считаются A -, B_1 - и B_2 -центры [2, 3], хотя содержание азота в B_2 дискутируется. Поэтому в основу нового подхода взяты результаты исследования кристаллов на ИК Фурье-спектрометре ФСМ-201. Содержания A -, B_1 -, B_2 -дефектов и примеси водорода оценивались по коэффициентам поглощения основных полос этих центров, а размер B_2 -центра — по положению максимума полосы поглощения [8]. Подробное описание аппаратуры, методики, параметров регистрации, определений коэффициентов поглощения и концентраций примесей приведено в [7]. В результате исследований алмазов из отдельных источников установлены соотношения азота в форме A -, B_1 -, B_2 -центров (рис. 2). Вероятно, это обусловлено различными условиями кристаллизации и согласуется с теорией взаимной транс-

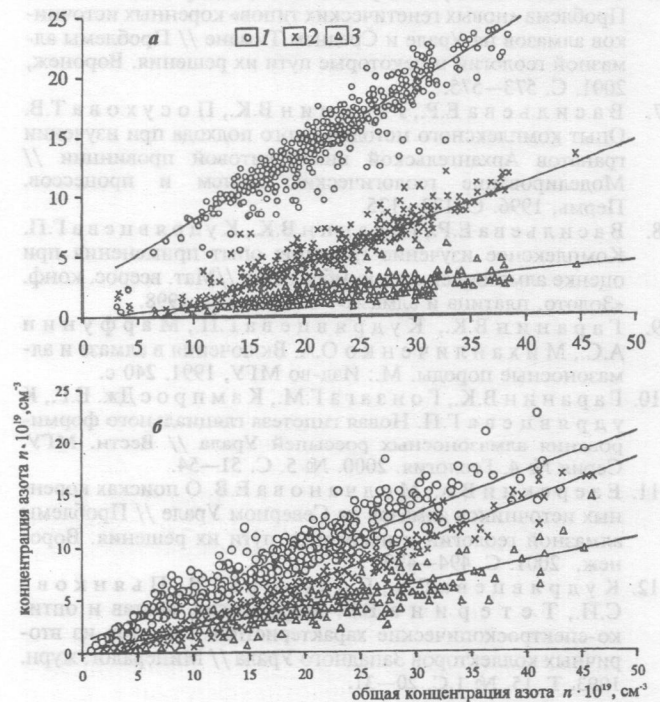


Рис. 2. Зависимость концентраций азота в формах A -, B_1 -, B_2 -дефектов от общего содержания азота в алмазах из трубок: а — Мир; б — Сытыканская: 1 — A ; 2 — B_1 ; 3 — B_2

формации дефектов [3, 5]. Квазиуниmodalность распределений по отдельным свойствам (рис. 1) позволяет говорить о компактности множеств в многомерном пространстве признаков, соответствующих алмазам в каждой кимберлитовой трубке. При этом разные источники образуют обособленные множества, имеющие незначительные области пересечения (рис. 3). Эти факты позволяют создать модели алмазов отдельных месторождений по набору параметров (коэффициентам поглощения основных полос A -, B_1 -, B_2 -центров, СН-группы, размеру B_2 -дефекта) и определить вероятность принадлежности каждому из них алмазов с типичными свойствами. Предложенный подход основан на методологии так называемых нечетких множеств — вместо однозначного суждения о принадлежности объекта к исследуемому классу дается количественная «оценка степени принадлежности» [4].

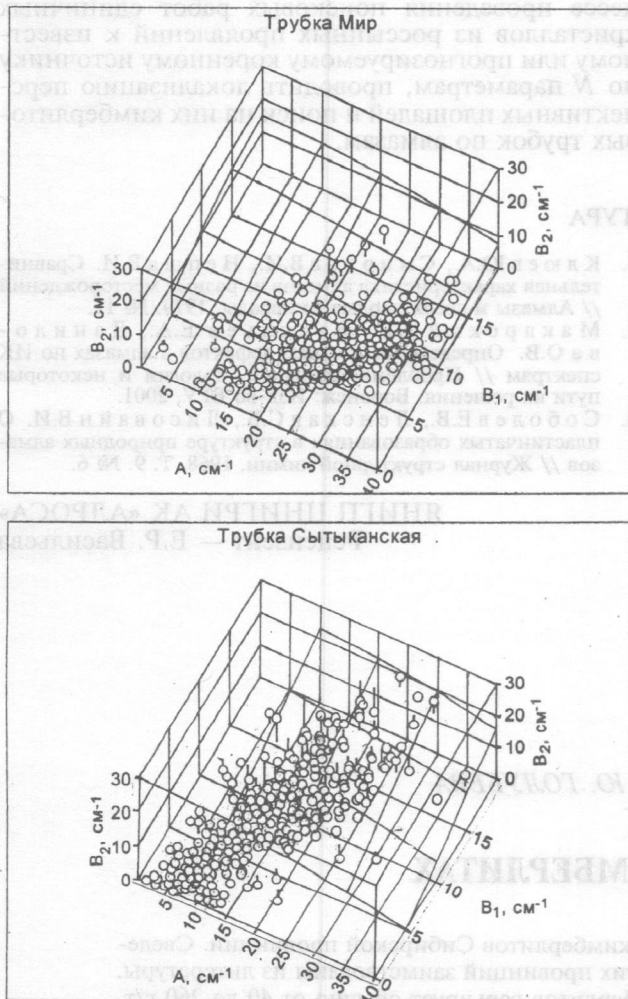


Рис. 3. Распределение алмазов из трубок Мир и Сытыканская в пространстве коэффициентов поглощения основных полос A -, B_1 -, B_2 -дефектов

Для реализации этого подхода необходимо предварительно построить объемные сеточные модели алмазов отдельных кимберлитовых тел, аппроксимирующие плотность распределения вероятности в пространстве признаков. С каждым узлом регулярной сетки ассоциируют элементарный участок и вычисленная вероятность принад-

лежности ему параметров кристалла. Множество узлов сетки с заданными характеристиками можно рассматривать как вероятностную модель алмазов в исследуемом кимберлитовом теле. Имея N -мерные модели нескольких месторождений, задачу диагностики источника единичных кристаллов можно свести к определению их принадлежности отдельной модели из множества таких в N -мерном пространстве. Для корректного определения такой принадлежности необходимо учитывать как минимальное расстояние до модели, так и расстояние, измеряемое по принципу «средней связи». Минимальное расстояние от точки χ до объекта (объемной модели Ω) определяется по формуле:

$$D_{\min}(\chi) = \min_{\xi \in \Omega} (r(\chi, \xi)),$$

где $r(\chi, \xi) = \|\chi - \xi\|$ — расстояние между точками χ, Ω .

«Среднее» расстояние от точки χ до объекта (объемной модели Ω) рассчитывается как функция:

$$D(\chi) = \int_{\Omega} r(\chi, \xi) f(\xi) d\xi,$$

где $f(\xi)$ — аппроксимированная плотность распределения вероятности в точке ξ модели.

По предложенной методике разработана программа, позволяющая строить модели различных объектов в N -мерном пространстве дефектов (с регулируемым удалением аномальных точек по априорной информации о качестве исходной выборки) и определять первоисточник алмазов или прогнозировать новый. Опробование математического и программного аппаратов проводилось с помощью определения принадлежности кристаллов из разведочных проб кимберлитовых трубок Мир и Юбилейная моделям этих месторождений, построенным по данным исследований кристаллов, полученным при промышленной разработке. Тестирование для 5-, 4-, 3-, 2-мерного случаев с целью выбора наиболее информативных признаков показало, что наилучшие результаты наблюдаются при использовании 3-мерной модели по основным дефектам A, B_1, B_2 с 80% опознанием образцов. Добавление таких параметров, как коэффициент поглощения полосы на 3107 см^{-1} или размер B_2 -дефекта для этих месторождений, обнаружило меньшую идентификацию своих образцов. Вероятно, в данном случае увеличение размерности задачи сопровождается накоплением ошибок и не приносит дополнительной информации. Проведенный нами анализ результатов исследования показал, что для моделей объектов одного кимберлитового поля наблюдаются более заметные области пересечения, в то время как для кристаллов месторождений различных полей эти области незначительны. Например, для трубок Мир и Сытыканская регистрируются только около 6% индивидов со схожим соотношением A, B_1, B_2 -центров (рис. 3). Растянutosть «облаков» в трехмерном пространстве признаков свидетельствует о том, что алмазообразование для изученных кимберлитовых тел представляет собой длительный петрологический процесс с различными параметрами и продуктивностью отдельных временных интервалов.

Предложенный подход мы использовали при оценке остаточных перспектив коренной алмазо-

ности центральной части Мало-Ботубинского района. Так, нами осуществлено изучение алмазов из аллювиальных отложений р. Малая Ботубия из этого района, результаты которого показали присутствие на отдельных участках не менее 30% алмазов, отличающихся от таковых в трубке Мир. Следует также отметить, что установлен высокий процент (около 5%) кристаллов типа IaB_1 , которые только в единичных случаях встречаются в трубках Мир и Интернациональная. Эти данные позволили сделать вывод о возможном присутствии в бассейне этой реки одного или нескольких неоткрытых продуктивных кимберлитовых тел среднего размера. В предполагаемом новом источнике прогнозируется высокий процент низкоазотистых и типа $IaB_1 + IaA$ кристаллов.

Известно, что на физико-механические свойства и качество алмазов, в конечном счете на их сохранность при обогащении оказывают влияние содержания азота в форме A -, B_1 -, B_2 -дефектов [2]. Разработанный программный комплекс позволяет установить процентное содержание индивидов с заданными диапазонами концентраций азота в той или иной форме и определенным их сочетанием. Эта информация поможет правильно подобрать процессы и технологические схемы для

промышленных обогатительных фабрик, а также вести отбор образцов для применения их в технике. Появилась возможность не только прогнозировать наличие новых коренных источников, но еще на стадии разведочных работ оценивать физико-механические свойства алмазов, тип месторождений, уровень потенциальной алмазоносности, качество алмазного сырья.

Таким образом, для каждого коренного месторождения выявлено типичное соотношение основных A -, B_1 -, B_2 -дефектов кристаллической структуры алмазов. На основе этого разработан математический и программный аппараты для построения многомерных вероятностных моделей кристаллов отдельных кимберлитовых трубок по результатам ИК спектроскопии, являющихся своего рода паспортами и отражающих условия генезиса и физико-механические свойства алмазов. Данный подход позволяет определять вероятность принадлежности обнаруживаемых в процессе проведения поисковых работ единичных кристаллов из россыпных проявлений к известному или прогнозируемому коренному источнику по N параметрам, проводить локализацию перспективных площадей и поиск на них кимберлитовых трубок по алмазам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биленко Ю.М. Содержание азота в алмазах Якутских месторождений // Геология и геофизика. 1979. № 7.
2. Бок и Г.Б., Безруков Г.Н., Ключев Ю.А. и др. Природные и синтетические алмазы. М.: Наука, 1986.
3. Владимирова Б.М., Зубарев Б.М., Каминский Ф.В. и др. Геология и генезис алмазных месторождений. Кн. 2. М.: Изд-во ЦНИГРИ, 1989.
4. Заде Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе // Классификация и кластер. М: Мир, 1980.
5. Ключев Ю.А., Налетов А.М., Белименко Л.Д. и др. Превращение оптически активных центров в синтетических алмазах под действием температуры // ЖФК. 1982. Т. 56. № 3.
6. Ключев Ю.А., Смирнов В.И., Непша В.И. Сравнительная характеристика алмазов из разных месторождений // Алмазы и сверхтвердые минералы. 1979. № 11.
7. Макарский И.В., Васильев Е.А., Данилова О.В. Определение азотных дефектов в алмазах по ИК спектрам // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001.
8. Соболев Е.В., Ленская С.В., Лисовая И.В. О пластинчатых образованиях в структуре природных алмазов // Журнал структурной химии. 1968. Т. 9. № 6.

ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА»
Рецензент — Е.Р. Васильева

УДК 550.42:669.292:552.323.6

И.П. ИЛУПИН, Ю.Ю. ГОЛУБЕВА

ВАНАДИЙ В КИМБЕРЛИТАХ

Определены содержания ванадия в образцах кимберлитов Сибирской провинции. Сведения о концентрации ванадия в кимберлитах других провинций заимствованы из литературы. Содержание ванадия в отдельных образцах кимберлитов варьирует обычно от 40 до 260 г/т, среднее около 120 г/т. Отношение TiO_2/V в кимберлитах колеблется от 40 до 400 (что соответствует отношению Ti/V от 24 до 240). Найдены прямая корреляция отношения Ti/V с «показателями щелочности» кимберлитов — концентрациями Ti , P , La , Zr , Nb — и обратная с отношением Mg/Fe . Выявлены отдельные группы кимберлитовых тел, характеризующиеся аномально высокими или аномально низкими значениями Ti/V .

Геохимии ванадия в кимберлитах уделяется мало внимания. В некоторых публикациях, посвященных петро- и геохимии кимберлитов, сведения о содержании ванадия в изучаемых образ-

цах не приведены. Так, для кимберлитов трубки Премьер (Южная Африка) показаны количества более 20 малых и редких элементов [28], но ванадия среди них нет.