

УДК 549.02:552.323.6(571.56)

**Б.М. Никитин**, **Ю.И. Камышев**, **Р.А. Затхей**<sup>1</sup>

*Архангельск, ГП «Архангельскгеология»,*

*<sup>1</sup>Львов, Государственный университет им. Ивана Франко*

### **ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА КИМБЕРЛИТОВ РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПОВ И ФАЗ ФОРМИРОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК**

До настоящего времени, несмотря на значительное количество публикаций, ощущается явный дефицит детальных исследований по закономерностям распределения алмазов и их минералов-спутников в объеме кимберлитовой трубки. Знание характера распределения алмазоносности и сопутствующих минералов в трубках – это ключ к пониманию места и условий образования алмазов, а также решению ряда задач в области петрологии кимберлитов.

Для коренных месторождений алмазов выделяется несколько четко различающихся между собой этапов и фаз внедрения кимберлитовых пород. Формирование трубок происходило в два этапа – взрывной и интрузивный. Первому этапу соответствуют туфобрекчии, второму – эруптивные брекчии и массивные разности кимберлитового материала. Поэтому характер алмазоносности и ее распределение в объеме кимберлитовой трубки является предметом и ныне не утихающих дискуссий. Единого мнения по этому вопросу до сих пор не выработано. К настоящему времени достаточно четко определились следующие точки зрения.

1. Алмазоносность кимберлитовых пород снижается по мере возрастания глубины их залегания в трубке.

2. Алмазоносность кимберлитовых пород испытывает разнознаковые колебания, но в целом остается постоянной и не зависит от глубины их залегания в трубках.

3. Последние фазы внедрения кимберлитов при формировании многофазных трубок обогащены алмазом и его минералами-спутниками.

Такие диаметрально противоположные мнения при огромном накопленном, по данным разведки и эксплуатации месторождений, фактическом материале непозволительно. Закономерности поведения алмазоносности дают возможность более четко подойти к вопросу генезиса алмаза, качественно повысить геолого-экономическую оценку месторождений на поисково-оценочных стадиях геологоразведочных работ. Всё это окажет значительные услуги геологам в рудничной геологии.

Для изучения поведения алмазоносности с глубиной для различных этапов и фаз формирования кимберлитовых трубок устанавливались зависимости между содержанием алмаза в руде и количеством последней, между массой кристаллов и их количеством, а также содержанием минералов-спутников. В подсчеты включали

показания проб по 50-метровым интервалам глубины, а в случае большого количества проб – по 25-метровым интервалам.

Применительно к месторождениям алмаза указанные зависимости обычно с достаточным приближением аппроксимируются свойством логарифмически нормального распределения или его разновидности – трехпараметрового. Для каждого 50-метрового (или 25-метрового) интервала глубин составлялось распределение по величине логарифма содержания взятых проб и представляемых ими алмазов. При этом отношение суммарной массы проб того или иного класса алмазов к общей массе всех проб распределения может рассматриваться как оценка относительного количества руд, представляемых пробами данного класса, то есть как их доля в общем балансе запасов участка трубки.

Таким же образом обрабатывались данные по массе кристаллов. Отношение количества кристаллов того или иного класса крупности к суммарному их количеству, встреченному на определенном интервале глубин, отождествлялось с долей количества алмазов данного класса, свойственного этому участку месторождения.

Затем по данным всех распределений строились на логарифмически вероятностных бланках выпрямленные диаграммы накопления эмпирических вероятностей массы проб по их содержанию и количества кристаллов по их массе. По оси абсцисс откладывались логарифмы содержания или массы кристаллов, по оси ординат – квантили вероятностей  $t$ .

Для всех построенных случаев изучаемые распределения оказались достаточно близкими к логарифмически нормальному или трехпараметровому. Об этом свидетельствует тот факт, что точки диаграмм образуют наклонную прямую или же располагаются в пределах наклонной узкой полосы, не выходя, за редким исключением, за границы доверительной вероятности 0,95.

Выпрямленные диаграммы явились оправданными для оценки математического ожидания как среднего содержания, так и средней массы кристаллов алмаза. Эта оценка производилась для фаз в целом и для различных глубин внутри всей трубки и взятой в отдельности фазы. Вычисляли по формуле

$$\lg \bar{x} = \lg Me + 1,1513\sigma^2, \quad (1)$$

где  $\lg \bar{x}$  – оценка логарифма среднего значения аргумента распределения содержания или массы;  $\lg Me$  – логарифм медианы распределения, характеризующийся ординатой  $t = 0$  (что соответствует вероятности 0,5);  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение частных значений логарифмов изучаемого признака от их среднего, которое определяется с помощью диаграммы по формуле

$$\sigma = \operatorname{tg} \alpha = \Delta x / \Delta t, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол между наклонной прямой и осью ординат;  $\Delta x$  – приращение абсциссы (в логарифмах);  $\Delta t$  – приращение ординаты (в квантилях) между двумя произвольно взятыми точками наклонной прямой.

Полученные таким образом оценки математического ожидания среднего содержания и средней массы алмазов рассматривали начиная от поверхности трубки до максимально разведанных глубин.

С целью устранения влияния ненаправленных случайных изменений изучаемых признаков показания последних были подвергнуты двойному сглаживанию методом скользящего окна. Сглаживанию подлежали показания трех соседних

интервалов глубины. Такой прием позволяет выявить координированную (направленную) составляющую изучаемой изменчивости, то есть, в данном случае установить характер поведения параметров алмазности с глубиной. Третий параметр – количество кристаллов алмаза, приходящееся на единицу объема кимберлитов, вычисляли по усредненным показателям содержания и массы.

Для изучения поведения минералов тяжелой фракции (пироба, пикроильменита и хромшпинелидов) с глубиной рассчитывали значения их среднего содержания, определяемые как средняя арифметическая величина из частных значений, характеризующих определенную глубину внутри фаз или в целом по трубке. Полученные средние содержания усреднялись так же, как и показатели алмазности.

Выполнение статистические расчеты, приведенные в таблице, позволили установить следующее: показатели алмазности (содержание алмазов, их средняя масса и количество кристаллов в единице объема), а также содержание минералов-спутников в последовательном ряду фаз становления кимберлитовых трубок – от ранних к поздним – отчетливо увеличиваются. Как видно из данных таблицы, показатели алмазности для наиболее ранних и поздних фаз отличаются между собой, как правило, менее чем в два раза, в то время как содержание минералов-спутников изменяется в значительно более широких пределах. В многоканальной системе тел сохраняется закономерность последовательного увеличения этих показателей не только для каждой из слагающих ее трубок, но и в очередности их образования. Различие показателей алмазности и содержания между сменяющимся фазами тем больше, чем больше перерыв во время их становления. Так, в многоканальной системе тел «Сытыканская» значительно разделенные во времени образования I взрывчатая и III интрузивная фазы различаются по среднему содержанию алмаза более чем в 10 раз, а по содержанию пироба – в 2,8 раза. В системе тел «Юбилейная» первые две фазы отличаются от IV по содержанию алмаза в 1,4 раза, по содержанию минералов-спутников – в 2,5 раза.

Вид частных кривых распределений содержания минералов зависит от того, с какими частями элементов морфологии трубки и с каким интервалом глубины отдельно взятой фазы мы имеем дело. Принципиально раструбная часть трубок, когда она сложена одной фазой, характеризуется более низким содержанием алмаза и минералов-спутников по сравнению с верхней частью воронкообразного канала (рис. 1), где происходит их максимальная концентрация. Более глубоким уровням свойственно понижение содержания этих минералов.

Такая закономерность для многофазных трубок, рассматриваемых в целом, естественно, выдерживается не всегда, поскольку более поздние фазы становления могут выполнять разные части элементов строения трубок.

Внутри отдельных фаз установлен общий вид распределения содержания алмаза и минералов-спутников (см. рис. 1): с глубиной оно возрастает, достигая максимума на определенном гипсометрическом уровне, а затем уменьшается до значений, меньших чем на самых верхних горизонтах, и с определенной глубины стабилизируется. Максимум содержания наиболее интенсивен и четко выражен для более тяжелых минералов (рис. 1). Они располагаются по глубине в соответствии с удельным весом минералов (рис. 2) и образуют прямую линию для каждой изученной фазы. Такой характер поведения содержания объясняется гравитационной дифференциацией минералов при заполнении полости трубки.

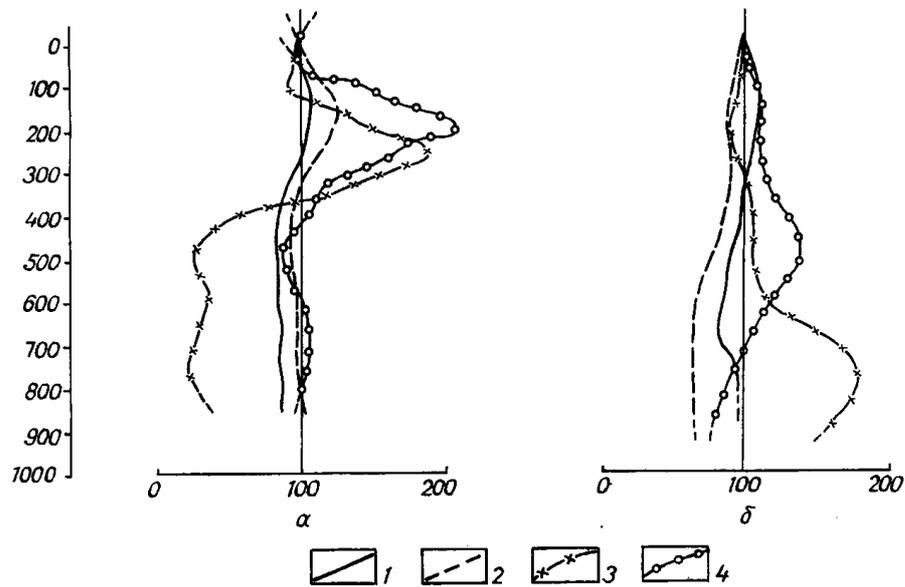


Рис. 1. Распределение минералов тяжелой фракции на глубину в фазах становления трубок: а – I фаза трубки «Интернациональная»; б – IV фаза трубки Юбилейная. 1 – алмаз, 2 – пироп, 3 – пикроильменит, 4 – хромшпинель.

Наклон прямых к оси абсцисс указывает, видимо, на скорость заполнения диагирем и различную вязкость связующей массы и кимберлитового вещества. Так, графики зависимости 1 и 2 (рис. 2) отвечают интрузивному этапу формирования тел, что выражается в значительной дифференциации по глубине минералов, тогда как зависимость 3 соответствует эксплозивной фазе, и по глубине максимумы содержания минералов весьма сближены.

В работах, посвященных поискам закономерных связей алмазности с вещественным составом кимберлитовых пород [1-3], отмечается различной силы положительная корреляция алмазности с пиропом в пределах одного типа кимберлитовых пород, тогда как мнение в отношении корреляции с содержанием пикроильменита и хромшпинелида расходятся. Одни авторы считают ее положительной или отрицательной, другие – что она не существует.

Таблица

Алмазность и содержание минералов-спутников в этапах

и последовательных фазах становления кимберлитовых трубок.

Название трубки	Этап	Фаза	Показатель алмазоносности			Среднее содержание минералов		
			Содержание, усл.ед.	Количество кристаллов, усл.ед.	Средняя масса кристалла, усл. ед.	Пироп, вес. %	Хром-шпинель, вес. %	Ильменит, вес. %
Спутник	Эксплозивный	I	100	–	–	0,045	0,009	0,113
	Интрузивный	II	106	–	–	0,314	0,45	0,77
Интернациональная	Интрузивный	I	100	100	100	0,21	0,033	0,079
	Интрузивный	II	134,3	130,3	102,6	0,283	0,037	0,0029
Мир	Эксплозивный	I	100	–	–	0,56	0,02	0,93
	Интрузивный	II	102,8	–	–	0,76	0,25	1,58
	Интрузивный	III	112,4	–	–	0,8	0,042	1,6
Сыгыканская	Эксплозивный	I	100	100	100	0,196	–	0,88
	Интрузивный	II	130,0	169,1	153,8	0,2	–	0,98
	Эксплозивный	III	1187,8	1995,6	164,8	0,55	–	1,13
Юбилейная	Эксплозивный	I	100	100	100	0,097	0,005	0,05
	Интрузивный	II	105,1	101,7	104,0	0,114	0,0053	0,056
	Эксплозивный	III	141,7	119,2	119,5	0,197	0,014	0,271
	Интрузивный	IV	196,1	146,7	130,2	0,306	0,017	0,231
Айхал	Эксплозивный	I	100	100	100	0,012	0,026	–
	Эксплозивный	II	157,8	152,7	103,4	0,016	0,03	–
	Интрузивный	III	178,2	125,6	141,9	0,06	0,043	–

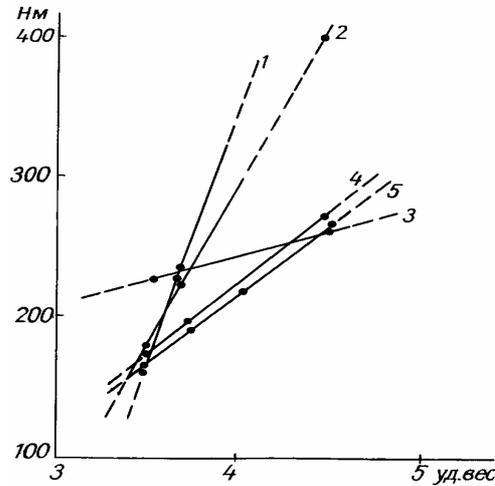


Рис. 2. Зависимость максимумов содержания минералов по глубине от их удельного веса.

1 – трубка «Мир»; 2,3 – II и I фазы трубки «Сытыканская»; 4 – I фаза трубки «Интернациональная»; 5 – II фаза трубки «Юбилейная».

По нашему мнению, как видно из распределения минералов тяжелой фракции на глубину в фазах становления трубок (см. рис. 1), это вызвано тем, что минералы с различным удельным весом имеют с глубиной разнохарактерную изменчивость распределения. В зависимости от эродированности или интервала глубины изучения объекта для минералов с близкими значениями удельного веса (алмаз – пироп) исследователь всегда получит положительную корреляцию различной силы. Для минералов с резко различным удельным весом (пироп–хромшпинель) в интервале 0-150 м (см. рис. 1,а) будет положительная связь, глубже – от 150 м до 300 м – она отрицательная, а от 300 м на изученную глубину опять будет положительной. Во втором приведенном варианте распределения (см. рис. 1,б) картина корреляционных зависимостей для алмаза и пироба тождественна первому, а между алмазом – пиропом и пикроильменитом–хромшпинелидом на всех уровнях глубин –отрицательная различной силы. Таким образом, если брать средние арифметические значения содержания на различной глубине по фазам, если границы фаз в геологическом пространстве правильно определены, что, к сожалению, не часто бывает, то исследователь может получить любую взаимосвязь.

Статистическая обработка фактического материала, полученного при детальной разведке и по данным эксплуатации ряда трубок, выявила следующие закономерности.

1. Установлен закономерный рост всех показателей алмазности и содержания минералов-спутников от эксплозивных этапов к интрузивным, а внутри них – от первой фазы к последующим. Это факт позволяет высказать предположение о существенной гравитационной дифференциации протовыделений минералов в

эволюции кимберлитового расплава.

2. Различие показателей алмазности и содержания минералов между сменяющимися фазами тем больше, чем больше перерыв во времени их образования.

3. Для отдельных фаз установлен принципиальный характер распределения алмазности и содержания минералов-спутников: с глубиной они возрастают, достигая максимума на некотором гипсометрическом уровне, а затем уменьшаются до значений, меньших, чем на самых верхних горизонтах, с последующей их стабилизацией. Максимумы содержания располагаются по глубине в соответствии с удельным весом минералов, что свидетельствует о дифференциации кимберлитового вещества под влиянием гравитационных сил внутри фаз при заполнении полости трубки.

Выявленные закономерности распределения алмазности и содержания минералов-спутников позволяют дать прогнозную оценку еще не изученных глубоких горизонтов алмазных месторождений, а также могут служить ориентиром для определения (в сочетании с другими факторами) величины эрозионного среза.

Заметная (а порой и резкая) граница в алмазности различных этапов и фаз кимберлитов делает совершенно необходимыми раздельную оценку и подсчет запасов каждой из выделенных разновидностей.

- 
1. Добрецов Н.Л., Зуенко В.В., Харьков А.Д. Факторы и типы алмазности кимберлитовых трубок Якутии (на основании статистической обработки данных) // Геология и геофизика. 1972. № 7.
  2. Владимиров В.М., Костровицкий С.И., Соловьева Л.В. Классификация кимберлитов и внутреннее строение кимберлитовых трубок. М., 1981.
  3. Зольников Г.В., Ковальский В.В. Связи алмазности с содержанием минералов тяжелой фракции в кимберлитовых породах из трубки Мир (на основании статистической обработки данных) // Геология, петрография и геохимия магматических образований Северо-Востока Сибирской платформы. Якутск, 1967.

**В.М.Никитин**, **Ю.И.Камышев**, **Р.А.Заткхеи**

#### **PECULIARITIES OF KIMBERLITE MATERIAL COMPOSITION OF DIFFERENT STAGES OF KIMBERLITE PIPES FORMING**

Regularities of diamond and its minerals-satellites distribution in the kimberlite bodies make it possible to forecast deep unstudied diamond-bearing horizons, evaluate erosion section level for exploitation purposes.

*Стаття надійшла до редколегії 15.09.1993*