

# ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 552.326.6 : 553.81

## Особенности типизации и алмазоносности кимберлитов

Н.Н.Зинчук

Западно-Якутский научный центр Академии наук Республики Саха (Якутия), 678170, Мирный, ул. Ленина, 4/1. E-mail: nnzinchuk@rambler.ru

(Статья поступила в редакцию 29 марта 2017г.)

Многие изученные кимберлитовые диатремы представляют собой многофазные трубки, в которых каждая магматическая фаза внедрения, сформированная внутри, сложена кимберлитом характерного петрографического и петрохимического типа, обладающего рядом устойчивых, слабо изменяющихся с глубиной типоморфных признаков. Кимберлиты разных фаз внедрения в одной и той же диатреме различаются между собой как соотношением порфировых и кластических структурных элементов, так и содержанием индикаторных минералов. Отмечены существенные различия в алмазоносности разных фаз внедрения кимберлитов, что обусловлено отличающимся уровнем заложения и длительности функционирования образующих их магматических очагов, скоростью подъема и характером продвижения кимберлитовой магмы в процессе этапов кимберлитобразования. Кимберлитовые брекчии завершающих этапов формирования трубок являются более продуктивными по сравнению с порфировыми кимберлитами ранних интрузивных фаз внедрения. При оценке продуктивности кимберлитовых трубок необходимо учитывать реальные соотношения в диатремах интрузивных и эксплозивных процессов кимберлитобразования, меняющегося во времени.

Ключевые слова: *кимберлитовые трубки, кимберлитобразование, алмазы и алмазоносность, интрузивные и эксплозивные процессы, типоморфизм минералов.*

DOI:10.17072/psu.geol.17.2.145

### Введение

Неравномерное распределение алмазов в кимберлитовых диатремах (Афанасьев и др., 1980, Бартошинский, 1961; Зинчук и др., 1993, 2003, 2013; Орлов, 1984; Францессон, 1968; Харьков и др., 1998) существенно осложняет плановую отработку коренных месторождений. Выявление особенностей вертикальной изменчивости алмазоносности кимберлитовых пород до глубины их рентабельной отработки является одной из главнейших задач и проблем разработки таких месторождений. Несмотря на (в целом) значительную исследованность кимберлитовых диатрем

Сибирской платформы (СП), вопросы их продуктивности во многом являются недостаточно изученными и дискуссионными по следующим причинам: а) закрытости данных опробования по многим месторождениям; б) несопоставимости данных опробования эксплоразведочных и эксплуатационных проб; в) не всегда опробуются строго раздельно различные типы кимберлитов.

Имеются также некоторые элементы субъективизма при определении петрографических типов кимберлитов различными исследователями (Благулькина, 1969; Василенко и др., 1997; Зинчук и др., 1987, 1997, 2000; Каминский, 1972; Крюч-

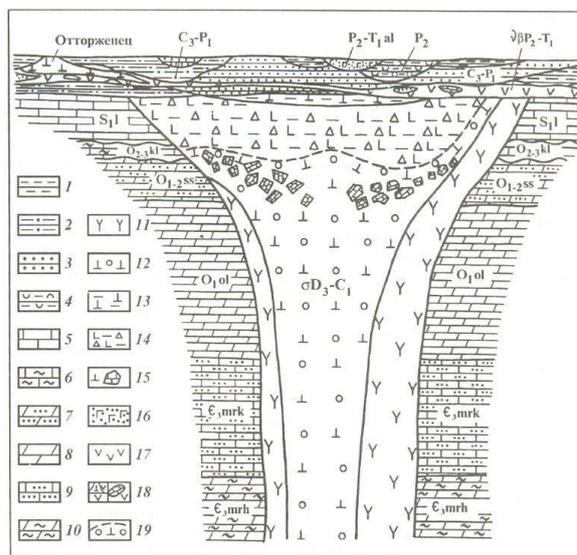
ков и др., 1994; Милашев, 1990; Никишов, 1984), и особенно это касается диатрем с различной степенью эродированности.

### Трубка Юбилейная

Примером слабо эродированной диатремы на СП является *трубка Юбилейная* (рис.1), открытая в Якутской алмазодобывающей провинции (ЯАП) в 15 км к северо-западу от пос. Айхал в Далдыно-Алаakitском районе (ДААР). Сопровождает диатрему система даек, ориентированных в северо-восточном направлении. Трубка прорывает толщу нижнепалеозойских субгоризонтально залегающих пород осадочного чехла – кембрия, нижнего и среднего ордовика и нижнего силура (лландоверский ярус) (Зинчук, 2013; Крючков и др., 1994; Милашев, 1990; Никишов, 1984; Орлов, 1984; Францесон, 1968; Харьков и др., 1998). Она полностью перекрыта терригенно-эффузивными образованиями верхнего палеозоя – нижнего мезозоя, интродуцированными межпластовыми телами долеритов (рис.1).

В разрезе центральный рудный столб имеет характерную трубчатую форму с чашеобразным расширением в пределах верхней кратерной части и близкую к округлой форму горизонтальных сечений. Западный и восточный рудные столбы представляют собой (рис.1) дайкообразные тела с извилистыми очертаниями как в плане, так и в вертикальных сечениях.

В структуре диатремы выделяются породы двух главных фаз внедрения: фланги сложены массивными порфиоровыми кимберлитами (ПК) первой фазы, а центральный канал начиная от основания чашеобразного расширения (с глубины 300 м и ниже) выполнен автолитовыми кимберлитовыми брекчиями (АКБ) второй фазы.



**Рис.1.** Геологический разрез кимберлитовой трубки Юбилейная (Харьков и др., 1998): 1 – перекрывающие породы верхнего палеозоя: 1 – углистые алевролиты, 2 – песчанистые алевролиты, 3 – разнородные песчаники, 4 – туфоалевролиты; 5 – 10 – вмещающие породы: 5 – известняки лландоверийского яруса мейкской свиты; 6 – мергелистые и глинистые известняки кылахской свиты; 7 – доломиты и песчанистые известняки сохсолоохской свиты; 8 – доломиты, глинистые доломиты и доломитистые известняки олдондинской свиты; 9 – терригенно-карбонатные породы маркокинской свиты; 10 – глинисто-карбонатные породы мархинской свиты; 11 – 12 – кимберлитовые породы: 11 – порфиоровые кимберлиты первой фазы внедрения, 12 – автолитовые брекчии второй фазы внедрения; 13 – 14 – стратифицированные осадочно-вулканогенные образования кратера: 13 – глинистого облика, 14 – «песчанистого» и «гравелитового» облика; 15 – ксенолиты осадочных пород в кимберлитах («ксенолитовый» пояс); 16 – туфы основного состава; 17 – долериты; 18 – блоки кимберлитов и осадочных пород, отторгнутые и перемещенные интрузией траппов; 19 – граница пород кратерной фации

Кимберлитовые породы первой фазы внедрения, слагающие западный и восточный рудные столбы, занимают незначительную часть площади погребенной поверхности трубки, но с глубиной их доля существенно возрастает (особенно на восточном фланге). По текстурно-структурным особенностям, вещественному составу и алмазоносности они близки между собой и представлены плотными, окрашенными в серовато- до темно-зеленого цвета породы с отчетливо выраженной порфировой структурой основной массы. Сложены они большим количеством псевдоморфоз по оливину и относительно редкими зернами индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), сцементированными карбонат-серпентиновым агрегатом.

На юго-западном фланге в кимберлитах данной фазы нередко содержится свежий оливин (до 50 кг/т). АКБ центрального столба представляют собой плотную породу с типичной брекчиевой текстурой и порфировой структурой основной массы. Содержание в них ксеногенного материала вмещающих пород составляет в среднем 18,8 % объема, автолитов – 9 %, включений глубинных пород – не выше 2%, метаморфических – 1,68 %. Переходы между кимберлитовыми породами первой и второй фаз внедрения постепенные, через зону смещения материала мощностью от 5 до 30 м.

В нескольких метрах от контакта трубки Юбилейная расположена *трубка Озерная*, имеющая в плане под перекрывающими отложениями верхнего палеозоя форму овала. Трубка сложена кимберлитовой брекчией (КБ), содержащей до 35 % обломочного материала и около 8 % псевдоморфоз по оливину. В повышенных количествах присутствуют также ксенолиты кристаллических пород фундамента. Соотношение ИМК (пиропы и пикроильменита) в этой диатреме, обратное кимберлитам трубки Юбилейная. Кимберлитовые породы характеризуемой трубки обладают более низкой алмазоносностью по

сравнению с аналогичными образованиями диатремы Юбилейная.

*Кимберлитовый отторженец* (рис.1) изолирован от обеих трубок, не имеет самостоятельного подводящего канала и заключен в породах верхнепалеозойского возраста и траппах (Зинчук, 2013; Крючков и др., 1994; Милашев, 1990; Никишов, 1984; Орлов, 1984; Францессон, 1968; Харьков и др., 1998). Западная часть его выведена эрозией на дневную поверхность. Установлено, что блок кимберлитовых пород, образующих это бескорневое тело, представляет собой срезанную трапповым силлом приповерхностную часть юго-восточного фланга трубки Юбилейная, перемещенную на несколько сотен метров от её первоначального положения. При этом отторгнутый блок оказался приподнят над уровнем поверхности самой трубки более чем на 35 м. Кимберлиты отторженца подверглись сильному динамическому воздействию со стороны трапповой интрузии, что привело к рассланцеванию. Породы пронизаны (Василенко и др., 1997; Зинчук и др., 1997, 2000, 2003, 2013; Крючков и др., 1994; Харьков и др., 1998) прожилками гидротермальных минералов (при доминировании кальцита и кварца), связанных с влиянием траппов, а также претерпевших гипергенные изменения.

Среди кимберлитов рассматриваемого отторженца выделяются три типа пород (ПК, АКБ и туфобрекчии), которые хорошо сопоставимы с одноименными разновидностями пород трубки Юбилейная.

Наиболее сложным строением и неоднородным составом характеризуется центральная часть трубки Юбилейной в пределах чаши, выполненной различными вулканогенными породами – от оригинальных вулканогенно-осадочных образований, слагающих верхнюю кратерную часть раструбы, до подстилающих их туфов и туфобрекчий, инъецированных КБ экструзивной (завершающей) стадии формирования диатремы. Породы кратерной фации описываемой диатремы представлены двумя толщами: верхняя – оса-

дочно-вулканогенная и нижняя – туфогенная, переход между которыми постепенный. Для зоны перехода характерны неравномерное распределение ксеногенного материала осадочных пород и обломков кимберлитов типа лапиллей и интенсификация процессов карбонатизации. В пределах верхних горизонтов чащеобразного расширения кратерного участка преимущественное развитие имеют субгоризонтально залегающие вулканогенно-осадочные породы, слагающие почти полностью центральный рудный столб и занимающие до 85% площади поверхности трубки. Мощность их варьирует от нескольких метров в краевых частях чаши до 100–150 м в её центре. Интересные образования в пределах вулканогенно-осадочной толщи вскрыты скважинами и подземными горными выработками (штреками) на глубинах 70–150 м от земной поверхности. Они представлены зонами, сложенными ритмично-осадочными пелитоморфными отложениями, чередующимися с прослоями песчанико- и гравелитоподобных пород. Песчанистые прослои дифференцированы по размеру обломков на мелко-, средне- и крупнозернистые. Границы между прослоями подчеркиваются четкой сменой цвета. Описываемая система зон слоистых пород этой части разреза создает в разрезе своеобразную синклинальную складку. Обычно три-четыре субпараллельные зоны полосчатых пород сгруппированы в серии. Промежутки между ними сложены нестратифицированными мелко- и среднеобломочными туфами мощностью от нескольких десятков сантиметров до первых метров.

Отложения туфогенной толщи выполняют среднюю и нижнюю части кратера трубки и залегают на размытой поверхности АКБ центрального рудного столба. Контакты между двумя гетерогенными блоками кимберлитовых пород нечеткие и расплывчатые. У основания этой толщи, на контакте с подстилающими эруптивными брекчиями (ЭБ), располагается зона, сложенная крупными (до 10 м) ксеноли-

тами вмещающих пород – так называемый «ксенолитовый пояс». В вертикальном разрезе туфогенная толща имеет трехчленное строение. Верхняя часть мощностью до 20 м представлена стратифицированными пирокластическими породами туфового облика с преобладанием пелитовой составляющей.

Глубже располагаются также стратифицированные породы с преобладанием слоев «песчаников» (мощностью 50–80 м). Здесь нередко встречаются линзы переотложенного материала существенно кимберлитового состава мелкообломочной текстуры. Эта зона с постепенными переходами сменяется менее стратифицированной зоной, в составе которой преобладают крупнозернистые туфопесчаники и туфогравелиты.

Основную массу алмазов из кимберлитов трубки Юбилейная составляют бесцветные, реже эпигенетически окрашенные в дымчато-коричневые цвета различной интенсивности кристаллы I разновидности по классификации Ю.Л. Орлова (1984), достигающие в отдельных интервалах до 90% всех находок (рис. 2).



**Рис. 2.** Алмазы из кимберлитов трубки Юбилейная

Среди них преобладают (Зинчук и др., 2003) октаэдры и переходные формы от октаэдрического габитуса к ромбододекаэдрическому (в сумме 40%), а также ламинарные ромбододекаэдры (до 20–25%). В сравнительно повышенном (до 10%) количестве, по сравнению с другими промышленными диатремами СП, встречаются

ся типичные округлые алмазы, среди которых выделяются как алмазы уральского (бразильского) типа, так и додекаэдровиды с шагренью и полосами пластической деформации «жильного» типа.

В небольших количествах присутствуют октаэдровиды, кубовиды и псевдогеоморфные кристаллы I разновидности. Бесформенные осколки без признаков кристаллографической огранки составляют свыше 10 % всех алмазов, и чаще всего это кристаллы с протоматматическими сколами. Типоморфными для месторождения являются незакономерные сростки дымчато-коричневых октаэдров с тригональными слоями роста, с желтовато-зеленой фотолюминесценцией, содержание которых в среднем достигает 5 %. Среди кривогранных ромбододекаэдров преобладают кристаллы с занозистой штриховкой при значительном содержании камней с блоковой скульптурой. Суммарное содержание окрашенных алмазов II, III, IV, VIII и IX разновидностей в кимберлитах трубки Юбилейная достигает 13 %. Только в этой диатреме встречаются (Зинчук и др., 2003; Харьков и др., 1998) желто-оранжевые кубовиды III разновидности и эмалевидные пористые кубы IV разновидности с характерной зональностью, не люминесцирующие в рентгеновских лучах. Характерным признаком для алмазов трубки Юбилейная является присутствие значительного количества индивидов с признаками природного травления (шрамы, матировка, коррозия и каверны), которые в целом по месторождению составляют свыше 25 % всех алмазов. Для диатремы характерно также высокое (иногда до 30 % всех алмазов) содержание двойников и сростков. Наиболее распространенными среди них являются незакономерные сростки, часть из которых сдвойникована, а также простые двойники по шпинелевому закону. Алмазы из кимберлитового тела Отторженец по своим особенностям практически не отличаются от кристаллов из ПК трубки Юбилейная. Алмазы трубки Озерная характеризуются своеобразием своих

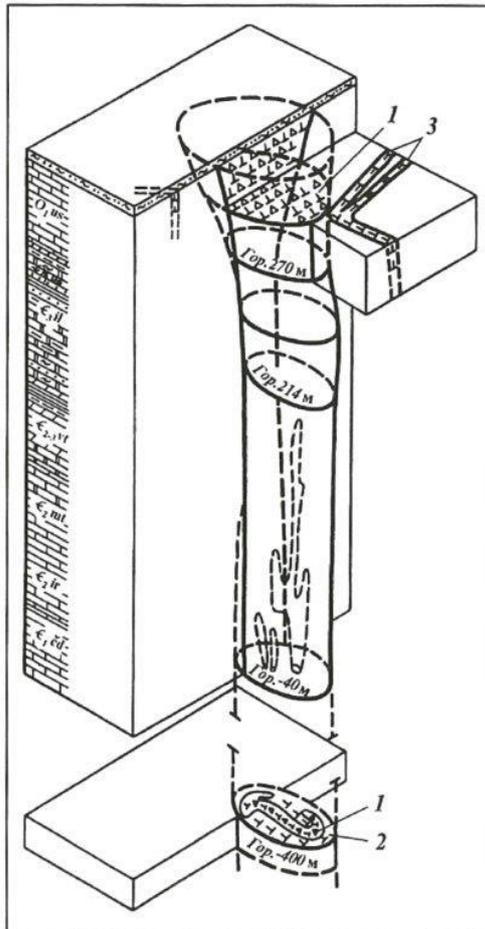
особенностей, отличающих их от кристаллов трубки Юбилейная и в целом похожи (Зинчук и др., 2003) на кристаллы диатрем Удачная и Комсомольская. Алмазы из жилы Первомайская, сопряженной с северо-восточной частью трубки Юбилейная, в целом близки к кристаллам ПК восточного тела месторождения, но отличаются повышенным содержанием додекаэдровидов «жильного» типа и серых октаэдров I разновидности эклогитового типа.

### **Мирнинское кимберлитовое поле, трубка Интернациональная**

Многие исследователи кимберлитового магматизма различных древних платформ на основании сравнения геологического строения и минералого-петрографического состава считают, что в каждом алмазоносном районе обычно находится крупное многофазное месторождение и намного больше более простых по строению диатрем. Ярким примером такой точки зрения является Мирнинское кимберлитовое поле (МКП) МБАР, где, наряду с многофазной трубкой Мир, отмечены более простые по строению диатремы (Интернациональная, имени XXIII съезда КПСС, Дачная, Таёжная и Амакинская) и ряд жил, среди которых наиболее изучена самостоятельная кимберлитовая жила А-21. Наиболее ценной в промышленном отношении является *кимберлитовая трубка Интернациональная*, расположенная в 16 км к юго-западу от диатремы Мир на правом берегу р.Ирелях, в верхнем течении её правых притоков Маччоба-Салаа и Улаах-Юрях. Трубка Интернациональная тяготеет к зоне Западного разлома, размещаясь на расстоянии 3 км от его осевой линии. Трубка сопровождается системой даек, ориентированных в северо-восточном, северо-западном или почти меридиональном направлениях. На поверхности трубка имеет форму неправильного овала, вытянутого на северо-запад. В среднепалеозойское и мезозойское время около 470 м верхней части ди-

атремы было уничтожено в результате длительной эрозии (Зинчук и др., 1997, 2000, 2003). От раструба сохранилась нижняя 120-метровая его часть. Далее на глубину остатки раструба переходят (рис.3) в цилиндрический канал с почти вертикальными контактами.

До глубины примерно 1000 м размеры трубки существенно не уменьшаются, однако тело её в целом склоняется в северо-восточном направлении.



**Рис.3.** Блок-диаграмма кимберлитовой трубки Интернациональная (Харьков и др., 1998): 1 – кимберлитовая брекчия, 2 – порфировый кимберлит, 3 – кимберлитовые дайки

Трубка прорывает горизонтально залегающие терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя и *перекрывается* *нижнейюрскими отложениями* мощностью от 2,1 до 9,2 м. В раннетриасовое время диатрема была перекрыта пластовым телом долеритов. В её верхней части установлена слабо выраженная элювиальная кора

выветривания (КВ) с содержанием в глинистой массе обломков обохренных пород, что подчеркивает избирательный характер гипергенного изменения элювиальных образований диатремы (Василенко и др., 1997; Зинчук и др., 1997, 2000). В таких профилях псевдоморфозы серпентина и кальцита по оливинолу, редкие зерна индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) сцементированы карбонат-серпентиновым агрегатом. Из ксенолитов наиболее распространены (5-30 %) обломки терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя. В небольших количествах встречаются включения траппов. Обнаружены также единичные обломки кристаллических сланцев фундамента СП. Повышенное (40-60 %) количество ксенолитов карбонатных пород зафиксировано в приконтактной зоне (особенно на участках пологого залегания контактов). Характерной особенностью верхних горизонтов диатремы (до глубины примерно 370 м) является относительно высокое содержание примеси терригенного материала вмещающих пород. Последний представлен песчанистой, алевритовой и глинистой фракциями, в которых доминируют тонкозернистые выделения кварца, полевых шпатов, турмалина, сфена, ставролита и глинистых минералов. Ниже указанной глубины количество перечисленных минералов постепенно уменьшается, и на глубинах ниже 500 м они полностью исчезают. С глубиной строение кимберлитового тела усложняется, и в этих частях выделяются кимберлиты трех фаз внедрения, слабо различающиеся между собой по строению, составу и алмазонасности (Зинчук и др., 2003, Харьков и др., 1998). Значительный объем кимберлитовых пород на глубоких горизонтах приходится на КБ, сложенные округлыми и овальными обособлениями пород ранней генерации. Автолиты имеют обычно более мелкопорфировую структуру, чем выполняющие кимберлиты. По содержанию и составу ИМК породы трубки Интернациональная отличаются от подавляющего большинства кимберлитовых тел не толь-

ко МКП, но и всей СП. Для описываемой диатремы характерно низкое содержание минералов титанистой ассоциации (пикроильменит и оранжевый пироп) и повышенное – хромистой (хромшпинелид, хромдиопсид и хромистый пироп). Серпентинизированные ксенолиты мантийных пород в описываемой диатреме редки. Трубку Интернациональная сопровождает десяток дайковых тел (мощностью от нескольких сантиметров до 1 м), некоторые из них алмазоносны.

По своим типоморфным особенностям алмазы трубки Интернациональная (рис. 4) характерны для группы коренных месторождений с промышленной алмазоносностью МБАР и в целом близки к алмазам трубки Мир (рис. 5).



**Рис. 4.** Алмазы из кимберлитов трубки Интернациональная (МБАР)



**Рис. 5.** Алмазы из кимберлитов трубки Мир (МБАР)

Среди них резко (до 71 %) преобладают кристаллы октаэдрического габитуса I разновидности (Орлов, 1984), реже пере-

ходного от октаэдрического габитуса к ромбододекаэдрическому (23%) при ничтожном (меньше 1%) содержании ламинарных ромбододекаэдров. Типичные округлые алмазы уральского (бразильского) типа, являющиеся отрицательным фактором алмазоносности кимберлитов, встречаются в небольшом количестве только в мелких классах ( $-2+0,5$  мм).

Содержание ламинарных ромбододекаэдров увеличивается по мере уменьшения крупности кристаллов и в классе  $-1+0,5$  мм достигает 10% их общего количества, что сопоставимо с таковым в трубке Мир (Зинчук и др., 2003). Типоморфной особенностью алмазов трубки Интернациональная является сравнительно высокое (до 16%) содержание плоскогранных октаэдров с острыми ребрами мирнинского типа, являющихся лучшей частью алмазного сырья. По морфологическому типу тонколаминарные кристаллы преимущественно октаэдрического габитуса со сноподобной и занозистой штриховкой преобладают над грубослоистыми индивидами с полицентрически растущими гранями и плоскогранными. Общее содержание алмазов с твердыми включениями является сравнительно невысоким и не превышает 21% общего количества кристаллов. Среди них резко преобладают эпигенетические включения графита, часто в ассоциации с сульфидами. На долю сингенетических включений приходится примерно 5% общего количества алмазов, причем среди них доминируют (99%) включения ультраосновной ассоциации, что сближает их с кристаллами большинства эксплуатируемых месторождений СП (Зинчук и др., 2003; Харьков и др., 1998). Концентрация в алмазах примесного азота в форме А-центра является высокой и распределение его характеризуется одномодальной кривой с максимумом в области  $(15-18) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Содержание А-центра составляет 626 атрррм, причем А-центр – 78% общей концентрации А- и В-дефектов. Содержание «пластиночных» дефектов (Р и В<sub>2</sub>) также низкое –  $3,4 \text{ см}^{-1}$ . Отмечена связь концентрации азота с

крупностью кристаллов. В целом типоморфными особенностями алмазов трубки Интернациональная являются: резкое преобладание кристаллов октаэдрического габитуса I разновидности при высоком содержании плоскогранных остросреберных октаэдров, невысокая ламинарность, низкое содержание двойников и сростков, представленных преимущественно двойниками по шпинелевому закону и низкое содержание алмазов с признаками природного травления. Для них характерны повышенная степень прозрачности, невысокое содержание окрашенных камней и кристаллов с твердыми включениями. Преобладают розово-сиреневая фотолуминесценция кристаллов и высокое содержание в них примесного азота в форме А-центра. Постоянно присутствуют грязно-фиолетовые октаэдры.

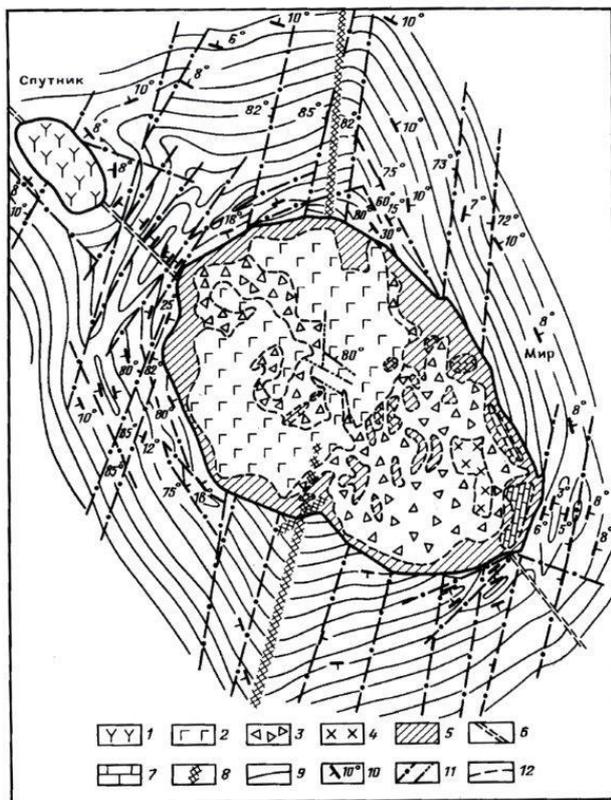
Кимберлитовая трубка *имени XXIII съезда КПСС* расположена в 14 км к юго-западу от трубки Мир и приурочена к Западному региональному разлому. Диатрема полностью перекрыта 12-20 - метровой толщей *нижнеюрских осадочных толщ укугутской свиты* и домерского подъяруса. Размер трубки на поверхности 120x80 м, форма овальная, длинная ось ориентирована на северо-запад. В верхней части разреза трубка имеет крутопадающие контакты, которые уже на глубине 100 м заметно выполаживаются и на глубине 150 м она принимает дайкообразную форму. На этой глубине соотношение длинной и короткой осей диатремы меняется – составляет 4,5 : 1 против 1,6 : 1 на поверхности. Рельеф трубки под осадочными толщами нижней юры неровный. В южной части наблюдается отчетливо выраженная возвышенность с превышением кимберлитов на 10 – 12 м над поверхностью вмещающих пород ордовика. В северо-восточной части диатремы под нижнеюрскими отложениями сохранилась древняя кора выветривания (КВ) кимберлитов мощностью 8 - 12 м, пелитовая составляющая образований которой представлена (Зинчук и др., 1987, 1997, 2000) монтмориллонитом, ассоциирующим с

монтмориллонит-гидрослюдистыми смешанослойными образованиями (МГСО), гидрослюдой, хлоритом, серпентином и каолинитом. Отмечена сильная химическая коррозия первичных минералов (особенно пирропа), вызвавшая появление на поверхности вторичных структур, каверн и каналов травления. При выветривании кимберлитов интенсивно выносятся кальций, магний, углекислый газ и другие компоненты из-за дробления, окисления и разложения породы. В результате окисления сульфидов, карбонатов и фосфатов возникали растворы различной интенсивности. Одновременно происходил активный процесс изменения гранулометрического состава, сохранности скульптуры поверхности граната, ильменита и других первичных минералов кимберлитов.

Наиболее детально вопросы изменения алмазоносности различных типов кимберлитов изучались на примере *трубки Мир* (диатремы-лидера в МКП МБАР), многие исследователи получили данные об их различии. Выделяется различное количество петрографических типов (от 3 до 6 и более), которые по-разному распространены как в плане, так и на разведанную (до 1200 м) глубину. Кимберлитовая трубка Мир на поверхности имеет (рис.6) форму овала (размер по длинной оси 490 м, по короткой – 320 м) со слабым пережимом в средней части. До глубины 200 м трубка представляет собой типичную воронку, глубже (примерно до 900 м) – цилиндрическое тело с незначительным сужением книзу, а затем на глубине около 1000 м от поверхности она переходит в серию подводящих даек.

Верхние горизонты трубки Мир образовались в результате трехфазного внедрения кимберлитового расплава (Благулькина, 1969; Василенко, 1997; Зинчук, 2000; Францессон, 1968; Харьков, 1998). Кимберлитовые брекчии (КБ) первой фазы слагают большую часть северо-западной половины трубки. КБ второй фазы на уровне современного эрозионного среза локализованы в юго-восточной части трубки и инъецируют брекчии северо-

западной половины диатремы. КБ третьей фазы формируют на юго-востоке трубки вытянутое в северо-западном направлении дайковое тело размером 30 x 120 м.



**Рис.6.** Геолого-структурная схема кимберлитовых трубок Мир и Спутник: 1 – трубка Спутник; 2 – 4 – трубка Мир с кимберлитами соответственно первой – третьей фаз внедрения; 5 – зоны эндоконтактов; 6 – кимберлитовая дайка; 7 – ксенолиты осадочных пород; 8 – зона дробления с галенитовой и сфалеритовой минерализацией; 9 – вскрытые карьером пласты вмещающих карбонатных пород; 10 – элементы залегания осадочных пород и разрывных нарушений; 11 – разрывные нарушения; 12 – границы разновидностей кимберлитовых пород

Контакты этого тела с вмещающими КБ секущие, в зоне контакта широко развита сульфидная минерализация. Трехфазность строения нижних горизонтов диатремы установлена (Зинчук и др., 1997, 2000, 2003, 2013) по изучению керн, вскрытого скважинами при глубоком бу-

рении с целью оценки продуктивности этой части месторождения. Между кимберлитами первой и второй фаз внедрения (на глубину около 1 км) прослеживается зона сочленения («шовная зона») подводящих каналов, обогащенная ксенолитами вмещающих пород («ксенолитовый пояс»). Установлено (Зинчук и др., 2003; Милашев, 1990; Францесон, 1968), что алмазоносность пород, слагающих трубку, в плане и по вертикали зависит от закономерностей распределения кимберлитов разных фаз внедрения в объеме рудного тела. Отмечено, что атакситовая и крупнопорфировая разновидности характеризуются минимальной алмазоносностью, а автолитовые кимберлитовые брекчии (АКБ) – максимальной. Существенное влияние на различие в алмазоносности оказывает присутствие кристаллов средних и крупных классов (Зинчук и др., 2003; Орлов, 1984). По гранулометрическому составу и морфологическим особенностям алмазов, окраске и степени дефектности кристаллов на глубоких горизонтах месторождения выделено два участка – на северо-западе и юго-востоке трубки. Здесь отмечено различие по продуктивности магматических фаз внедрения, а также по содержанию в них разных классов крупности и их оптическим свойствам. Кимберлиты раннего этапа консолидации отличаются снижением качества алмазов и уменьшением алмазоносности. КБ характеризуются и более высокими экономическими показателями. Кроме упомянутых трех фаз КБ, формирование которых происходило в результате последовательного внедрения самостоятельных порций кимберлитового расплава из эволюционирующего магматического очага (Каминский, 1972; Харьков и др., 1998), вдоль контакта с вмещающими породами повсеместно отмечаются своеобразные кимберлитовые брекчии (5-50 м), названные эндоконтактовыми. Последние не связаны с самостоятельной фазой формирования диатремы, а представляют собой своеобразные фациальные разновидности упомянутых КБ. Возникновение таких по-

род обусловлено повышенным содержанием ксеногенного материала вмещающих трубки терригенно-карбонатных пород и влиянием на кимберлиты пневматолито-гидротермальных растворов (Зинчук и др., 1997, 2000, 2003, 2013). Породы этой зоны в диатремах наиболее интенсивно карбонатизированы и насыщены (достигая до 60% объема) ксенолитами терригенно-карбонатных пород. Довольно интересной является также зона кимберлитовых пород, разделяющая породы первой и второй фаз внедрения. Она имеет ширину до нескольких десятков метров и характеризуется высокими концентрациями рифов вмещающих пород, размеры которых достигают иногда нескольких десятков метров, совпадая с пережимом диатремы, рассекая её в почти меридиональном направлении на две части (рис.6). В результате геологоразведочных работ с подсчетом полезного компонента отмечено продолжение ксенолитового пояса и на глубоких (до 1000 м) горизонтах, с образованием своеобразной шовной зоны, по которой сочленяются два самостоятельных тела, имеющих на глубине изолированные подводящие каналы (Милашев, 1990; Никишов, 1984). Слабоизмененные кимберлиты трубки отличаются высокой магнезиальностью, а иногда и повышенным содержанием  $K_2O$ . Слабо или практически неизменные кимберлиты среди сильно переработанных вторичными процессами магматических образований отличаются низким содержанием карбонатной составляющей и повышенным – флогопита. На глубоких горизонтах трубки Мир отмечены также небольшие участки, сложенные атакситовым кимберлитом (АК), представляющим собой песчаникоподобную породу, нередко слоистой текстуры. По внешнему виду она напоминает осадочно-вулканогенные образования, характерные для верхних горизонтов некоторых слабо эродированных диатрем, однако от последних отличается преобладанием кимберлитового материала. В целом КБ описываемой диатремы содержат переменное количество обло-

мочного материала терригенно-карбонатных пород чехла платформы, траппов и ксенолитов пород верхней мантии (Францессон, 1968; Харьков, 1998).

Внутритрубочные дайки сложены в различной степени серпентинизированным кимберлитом темно-серого до черного цвета с порфировой структурой и ориентированной текстурой, обусловленной субпараллельным расположением порфировых выделений оливина, а также обогащенной флогопитом карбонат-серпентиновой основной массы. В кимберлитовых породах даечного комплекса, в отличие от вмещающих их КБ, не отмечены ксенолиты осадочных пород, конвергентных включений, а также крупные выделения первичных минералов. Внутритрубочные дайки вскрыты разведочными скважинами на глубинах 1004,7-1005,2 и 1258 м (Милашев, 1990; Харьков и др., 1998); ширина их достигает нескольких десятков сантиметров. Дайковый кимберлит представляет собой мелкопорфировую породу темно-серого цвета, сложенную псевдоморфозами по оливину и многочисленными чешуйками и пластинчатыми кристаллами флогопита светло-коричневого цвета. Основная масса пород состоит из агрегатов серпентина с примесью кальцита. Помимо внутритрубочных даек, при разведке трубки были вскрыты и другие дайковые тела кимберлитов, которые представлены темно-серыми плотными породами с афировой структурой, практически без порфировых выделений оливина или псевдоморфоз по нему.

В 131 м на северо-восток от трубки Мир расположена *кимберлитовая трубка Спутник* (рис.1), имеющая в плане размеры 140x90 м. Форма трубки овальная с вытянутой в северо-западном направлении длинной осью. Вмещающими породами диатремы на уровне современного среза служат отложения нижнего ордовика мощностью до 280 м. Глубже трубку окружают породы кембрийского возраста. В вертикальном разрезе трубка быстро выклинивается, переходя на глубине

330 м в подводящую дайку мощностью 15 м, а на глубине 375 м – в систему даек мощностью 2-3 м. Эти дайки под трапповым силлом объединяются в более мощную дайку – подводящий канал северо-западной ориентировки. Для трубки характерно повышенное содержание ксенолитов вмещающих пород и траппов. По степени выветрелости и постмагматической измененности среди магматических пород трубки выделяется несколько разновидностей. Наиболее изменены кимберлитовые породы верхних горизонтов диатремы (до 25 м) и на контакте с вмещающими породами, где они превращены в буровато-желтоватую глинисто-карбонатную массу. Глубже, ниже зоны гипергенного преобразования пород, залегают КБ от серого до грязно-серого цвета. Карьером около трубок Мир и Спутник во вмещающих породах вскрыты три *кимберлитовые дайки*. Одна из них (Южная) прослежена на юго-восток от трубки Мир на расстоянии до 200 м. Вторая (Центральная), вскрытая между обеими трубками, как бы соединяет их. К северо-западу от трубки Спутник на расстоянии 300 м от контакта простирается дайка Северная. Мощность этих даек колеблется от 10 до 30 см. Основное тело каждой дайки часто расщепляется на несколько более тонких прожилков мощностью от 1 до 10 см. Во вмещающих породах прожилки либо выклиниваются, либо снова соединяются с главным телом. Характер взаимоотношения даек с трубками позволяет относить их к дотрубочным образованиям, сформировавшимся в начальную стадию развития диатрем (Зинчук и др., 1997, 2000, 2003; Милашев, 1990; Никишов, 1984). Кимберлитовые породы даек отличаются от кимберлитов трубок Мир и Спутник высоким содержанием карбонатного материала, повышенной ролью пирропа и пикроильменита, а также титана и фосфата. Несколько дайковых тел кимберлитов сложной морфологии отмечены под пластовым телом долеритов на глубине около 500 м. Дайковые кимберлиты верхних и глубоких горизонтов суще-

ственно различаются, что выражается, прежде всего, в увеличении степени карбонатизации их более нижних частей. Отличается по составу от всех отмеченных выше структур и вскрытое карьером и буровыми скважинами около трубок Мир и Спутник пластовое кимберлитовое тело (*силл*), рвущее дайку долеритов, а также корневую зону трубки Спутник, протягиваясь на десятки метров севернее последней.

Содержание алмазов в трубке Мир значительно выше, чем во многих высокоалмазоносных месторождениях мира (Зинчук и др., 1987, 2003). Алмазы представлены октаэдрами (до 61%), ромбододекаэдрами (до 10%), комбинированными кристаллами (до 29%) и кубами (меньше 1%). Характерной особенностью алмазов трубки Мир (рис.5), как и других кимберлитовых тел с промышленной алмазоносностью МБАР, является резкое преобладание кристаллов октаэдрического габитуса при сравнительно невысоких содержаниях ламинарных кристаллов переходного от октаэдрического габитуса к ромбододекаэдрическому и ламинарных ромбододекаэдров. Преобладают бесцветные камни (до 75%), но встречаются также дымчато-серые (до 14%), буровато-красные (до 7%), голубовато-зеленые (до 1%), желтые (до 1%) и лиловые (2%). Общая доля сростков нередко достигает 18%, а шпинелевых двойников – 10%. Значительное количество алмазов трубки Мир в той или иной степени трещиноваты, причем типоморфными для месторождения являются секущие трещины, не характерные для кимберлитовых диатрем других алмазоносных районов СП. Одной из причин этого факта является высокое содержание примесного азота в форме А-центра и неоднократное распределение центров фотолюминесценции, приводящее к дополнительным напряжениям в структуре алмаза при технологической добыче и обогащении минерала. А-центр является основным оптически активным дефектом в алмазах, и на его долю прихо-

дится около 75% общего содержания А- и В1-дефектов (Зинчук и др., 2003).

Поскольку трубки Мир и Спутник, дайки и силлоподобное тело представляют собой единую взаимосвязанную рудную систему, предпринята попытка (Зинчук и др., 1997, 2003, 2013) провести сравнительное изучение особенностей алмазов из различных типов пород на всю глубину пробуренных колонковых скважин при разведке диатремы (нижние части) и их производственной отработке (верхние горизонты). При исследовании алмазов тщательно изучались морфологические, оптические и другие свойства кристаллов. При этом основное внимание было уделено кристаллам октаэдрического габитуса, их сросткам, двойникам и агрегатам, поскольку кубические и ромбододекаэдрические формы наблюдались редко и не отражали специфику выделяемых разновидностей КБ. Использовались также признаки алмазов, включающие особенности, приобретенные кристаллами в процессе их транспортировки кимберлитовой магмой, её дифференциации и раскристаллизации, которые отнесены к дефектным (появление коричневой окраски, дымчатость, коррозионная скульптура, включения графита, желто-оранжевая флуоресценция и другие). На глубоких горизонтах трубки Мир КБ второй фазы внедрения составляют более 80% объема тела, тогда как аналогичные породы начальной фазы отмечаются только на отдельных участках (Зинчук, 2000; Харьков, 1998). Различие в алмазоносности КБ двух фаз внедрения можно объяснить разубоживанием кимберлитов первой фазы в результате насыщения их ксенолитами пород осадочного чехла и меньшей скоростью подъема и глубиной зарождения первых порций кимберлитовой магмы. Однако в целом алмазоносность каждого конкретного типа кимберлитовых пород колеблется в широких пределах (Зинчук и др., 2003). Несмотря на почти равномерное распределение алмазов по классам крупности, если не учитывать конкретных разновидностей пород, для образований раз-

личных фаз отмечаются определенные различия. Так, КБ первой фазы содержат максимальное количество мелких и максимальное число крупных кристаллов. В отличие от этого, в КБ второй фазы внедрения возрастает содержание крупных и уменьшается доля мелких кристаллов. Выявленная закономерность в соотношениях мелких и крупных кристаллов в брекчиях обеих фаз внедрения оказывает существенное влияние на колебания средней массы кристаллов, минимум и максимум которой зафиксированы для отдельных разновидностей первой и второй фаз формирования кимберлитовой трубки Мир. В приконтактных зонах кимберлитов с вмещающими породами увеличивается количество мелких кристаллов, тогда как количество крупных становится больше по мере приближения к центру диатремы. При этом содержание алмазов в КБ приконтактных зон зависит лишь от того, какой разновидностью (первой или второй) сложены эти участки. В КБ начальной фазы внедрения доминируют дымчатые и коричневые алмазы и их осколки. В КБ второй фазы становления диатремы (автолитовой и микролитовой) количество таких алмазов намного ниже. Степень сохранности кристаллов алмаза, их средняя масса и алмазоносность пород второй разновидности глубоких горизонтов трубки Мир значительно выше, чем аналогичные параметры этих же пород верхних горизонтов, что связано с динамикой заполнения диатремы и скоростью кристаллизации кимберлитового субстрата.

По минералогическим особенностям в кимберлитовых породах трубки Мир преобладают (рис. 5) бесцветные, реже эпигенетически окрашенные в дымчато-коричневые цвета (из-за пластической деформации) алмазы I разновидности (Орлов, 1984) при незначительном (до 2%) содержании серых поликристаллических агрегатов VIII разновидности и единичных находках алмазов с оболочкой IV разновидности (как желтовато-зеленого, так и молочно-серого цвета) октаэдрического

габитуса, реже – комбинационного ряда октаэдр – ромбододекаэдр – куб. Характерной типоморфной особенностью алмазов трубки Мир является одно из максимальных содержаний бесцветных плоскогранных октаэдров с острыми, иногда слегка округленными ребрами, названных кристаллами мирнинского типа. Из морфологических типов кристаллов преобладают (Зинчук и др., 2003) тонко ламинарные октаэдры со сноповидной и занозистой штриховками, превалирующие над груболаминарными камнями с полицентрически растущими гранями, сложенными как тригональными, так и дитригональными слоями роста. Основная масса алмазов представлена монокристаллами; на долю двойников и сростков приходится не более 20% общего количества кристаллов. Значительное количество алмазов трубки Мир в той или иной степени трещиноваты, причем типоморфными являются секущие трещины, не характерные для кимберлитовых месторождений алмазоносных полей СП. В кимберлитовой трубке Спутник алмазоносность кимберлитов в 4 раза ниже, чем в трубке Мир. Для алмазов из кимберлитов трубки Спутник характерно преобладание (до 70%) мелких кристаллов и небольшое количество (до 7%) средних размеров. Обнаружены ромбододекаэдры и кристаллы переходной формы, однако основная масса – алмазы октаэдрического габитуса и их осколки. Для алмазов этой небольшой трубки характерно повышенное (до 19%) содержание твердых включений эклогитовой ассоциации, что обычно свойственно более ранней и менее глубинной фазе кимберлитового магматизма (Благулькина, 1969; Василенко и др., 1997; Зинчук, 2000; Каминский, 1972; Крючков, 1994; Милашев, 1990; Никишов, 1984). В кимберлитовых жилах, откартированных в районе куста трубки Мир, доля мелких алмазов достигает 80%, а среднего класса – 19%. Преобладающее количество алмазов в жилах имеют ромбододекаэдрический габитус (Зинчук и др., 2003). Они сложно деформированные, трещиноватые,

с коричневой окраской с полосами пластической деформации. Мелкие алмазы кимберлитовых жил, их осколки коричнево-дымчатые, графитизированные, корродированные кристаллы указывают на сложные термодинамические условия их образования (перепады давления, температуры и газового режима).

Для получения более обширной информации по рассматриваемой тематике проведено сопоставление имеющихся материалов по алмазоносности и их связи со структурно-текстурными особенностями кимберлитов трубок Ботубинская (Средне-Мархинский алмазоносный район - СМАР), Удачная и Айхал (ДААР), а также по ядру разведочного материала с привязкой к петрографическим типам. Эти трубки сформированы (Василенко и др., 1997; Зинчук и др., 1997, 2000, 2003) в результате нескольких (не менее двух) фаз внедрения кимберлитового расплава, каждой из которых соответствует собственный петрографический тип породы. Последовательность магматических фаз внедрения установлена по резким геологическим контактам и включениям ксеноавтолитов, отражающим временные границы этапов консолидации разных петрографических типов. АКБ завершающих эксплозивных фаз внедрения характеризуются в целом повышенной алмазоносностью по сравнению с предшествующими по образованию интрузивными ПК. Это соотношение (в условных единицах) для восточного тела трубки Удачная составляет 1,3:1, западного – 1,5:1, трубок Айхал и Ботубинская – 1:1,5. Примерно такое же соотношение отмечено и для трубки Нюрбинская. Превалирует мнение, что последние фазы внедрения кимберлитов в многофазных трубках более продуктивны. Используя методы математической статистики, определено (Зинчук и др., 1987, 1997), что участки с различной алмазоносностью в трубках располагаются соответственно распространению кимберлитов разных фаз внедрения, причем породы завершающих этапов формирования характеризуются повышенной про-

дуктивностью. Сами границы кимберлитовых пород разных фаз внедрения обычно нечеткие, трудно картируемые, а критерии определения фаз и последовательности их формирования в ряде случаев весьма условны.

В трубках сложного внутреннего строения присутствуют алмазы различной крупности, габитуса и свойств (Зинчук и др., 1987, 1993, 2003, 2013). Обычно ранние фазы внедрения кимберлитов трубки Мир, менее алмазоносных, содержат минимальное количество октаэдров по сравнению с более поздними фазами внедрения. Большинство алмазов из кимберлитовых жил имеют ромбододекаэдрический габитус; кристаллы сильно деформированы, трещиноваты, дефектной окраски. Значительная их часть содержит включения эпигенетического графита, а поверхности ромбододекаэдров (с шагрелевым рельефом) свидетельствуют о пластической деформации алмаза. Исследуя типоморфные особенности алмазов трубок с промышленной алмазоносностью (Удачная, Сытыканская, Юбилейная, Комсомольская и др.), установлено (Каминский, 1972; Крючков и др., 1994; Милашев, 1993; Никишов, 1984), что наиболее высокопродуктивными являются рудные столбы, сложенные АКБ. Для этого петрографического типа характерно повышенное содержание в них кристаллов алмаза октаэдрического габитуса в крупных классах с одновременным снижением количества ромбододекаэдров. Менее алмазоносными считаются рудные столбы, выполненные ПК, для которых характерно увеличение количества кристаллов ромбододекаэдров с уменьшением числа октаэдров, а также повышенное число округлых алмазов. Образование додекаэдрических поверхностей исследователи связывают с условиями растворения при повышенных температурах. Результаты экспериментов по искусственному получению алмаза (Зинчук и др., 2003) свидетельствуют о том, что габитус кристалла варьирует в зависимости от температуры. По мере повышения температуры по-

являются куб–октаэдр–додекаэдры, что позволяет предполагать более высокое содержание крупных фенокристов оливины в ПК. Последние во всех изученных трубках характеризуются более мощными келифитовыми каймами на гранатах ультраосновной ассоциации. Это свидетельствует об их более длительной реакции с кимберлитовым расплавом, т.е. меньшей скорости внедрения транспортируемого флюида, что могло приводить и к растворению алмазов. Завершающие вулканические фазы внедрения кимберлитовой магмы характеризовались высокими скоростями подъема, что могло положительно отразиться на сохранности алмазов и их соотношении в настоящее время. Однако такая закономерность характерна не всем диатремам. Например, в трубке Дальняя (ДААР) более алмазоносными оказались ПК. Обнаружены также различия (Зинчук и др., 1987; Каминский, 1972; Крючков и др., 1994) в распространении кристаллов с разным типом внутреннего строения в кимберлитах разных фаз внедрения Накынского поля (трубки Ботуобинская и Нюрбинская). Установлено, что среди алмазов из АКБ повышено содержание кристаллов с желтым и желто-зеленым свечением и снижено с розовым, розово-сиреневым и оранжевым, что существенно отличается от аналогичных свойств минерала из ПК. Были обнаружены различия по интенсивности образования продуктивных зародышей кристаллов алмаза из разных типов кимберлитов.

Рассматривались также (Зинчук и др., 1987, 1997) вопросы взаимосвязи химического состава кимберлитов и алмазоносности, которые базировались на результатах химического анализа более 3 тысяч образцов кимберлитов различных структурно-петрографических разновидностей по всем изученным коренным месторождениям алмазов СП. Линейный корреляционный анализ содержаний алмазов и доминирующих оксидов из кимберлитов трубок Мир и Интернациональная (МБАР), Сытыканская, Юбилейная и Удачная (ДААР) надежных, устойчивых

зависимостей не обнаружил, что связано, вероятно, с тем, что имеющиеся в распоряжении данные по алмазоносности 10-метровых разведочных интервалов включали несколько структурно-текстурных разновидностей пород. Однако применение множественного регрессионного анализа подтвердило (Василенко и др., 1997; Харьков и др., 1998) гипотезу о наличии связи между химизмом кимберлитов разрабатываемых месторождений СП и их продуктивностью. Имеющиеся базы данных химических анализов были разделены по уровням алмазоносности для отдельных диатрем на 50 групп, для каждой из которых были вычислены средние значения, затем использованные в уравнениях множественной регрессии. В результате в каждой кимберлитовой трубке было установлено по две основные популяции (подгруппы), различающиеся по содержаниям отдельных петрогенных компонентов. Отмечено, что ПК ранних фаз внедрения, характеризующиеся повышенной магнетизальностью, титанистостью и железистостью, менее продуктивны по сравнению с кимберлитовыми брекчиями завершающих стадий формирования диатрем. Чем меньше в популяциях  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , больше  $K_2O$  и  $Al_2O_3$ , тем выше алмазоносность популяций.

## Выводы

Таким образом, проведенные исследования разных фаз внедрения кимберлитов крупной слабо эродированной диатремы Юбилейная (перекрытых верхнепалеозойскими-нижнеюрскими отложениями и траппами) позволяют утверждать, что средние составы этих образований различаются между собой главным образом по степени насыщенности карбонатным материалом. Повышенная карбонатизация свойственна породам нижних горизонтов чаши и порфиоровым кимберлитам в приконтактной зоне на участках, где отмечено повышенное количество ксеногенного материала. Большое количество последнего отмечается в зоне перехода от кимбер-

литовых туфов, слагающих чашеподобное тело, к КБ второй фазы и в составе стратифицированных пород, выполняющих чашу. Для диатремы характерно широкое распространение ксенолитов ультраосновных парагенезисов, среди которых повышено количество гарцбургит-дунитового, являющегося потенциально алмазоносным. Отмечено также повышенное содержание нодулей катаклазированных разновидностей перидотитов. Состав ИМК и особенности алмазов являются надежным критерием идентификации не только кимберлитовых диатрем, но и расположенных рядом с ними «отторженцев», слепых тел, жил и силлов, что очень важно при поисках диатрем шлихомиралогическим методом. Алмазоносность кимберлитовой трубки Юбилейная неоднородная. Наиболее высокими содержаниями алмазов характеризуются кимберлитовые породы, залегающие под чашей. Породы чаши имеют низкое содержание алмазов, особенно в верхних горизонтах, где велика доля неалмазоносного ксеногенного материала и развиты мелкозернистые породы. Кимберлитовая трубка Юбилейная относится к числу месторождений с отличающимися типоморфными особенностями алмазов, главной среди которых является высокое, по сравнению с другими месторождениями, содержание окрашенных кристаллов II, III и IV разновидностей, сближающее их по этому признаку с алмазами трубки Айхал, находящейся в этом же ДААР. Вместе с тем от последних они отличаются повышенным содержанием ромбододекаэдров I и IV разновидностей, в том числе и типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа, а также аналогичных кристаллов с блоковой скульптурой. Характерны значительное содержание индивидов и признаки природного травления (шрамы, каверны и коррозия), большее по сравнению с другими месторождениями количество сростков, повышенное число камней с желтой и желто-зеленой окраской и пониженное – с дымчато-коричневой, относительно невысокое со-

держание кристаллов с включениями, в том числе и сингенетическими, а также относительно невысокая степень сохранности (целостности) алмазов.

На основании изучения геологического строения и вещественного состава трубок и жил, исследования алмазоносности кимберлитов, морфологии, гранулометрии и окраски алмазов проведена детализация модели пространственного размещения жильных тел, трубок Мир, Спутник, Интернациональная, имени ХХШ съезда КПСС, Дачная и др. Установлено, что жильные тела, трубки Мир и Спутник отличаются по алмазоносности, гранулометрическому составу и качеству алмазов. Наиболее обогащены мелкими и низкосортными алмазами жильные тела и рудные столбы, отвечающие первым фазам (этапам) внедрения. Обилие мелких, окрашенных и низкосортных алмазов в жилах и трубках раннего этапа внедрения (трубка Спутник) вызвано тем, что кимберлитовый расплав при их становлении прошел достаточно длинную историю развития. Это создало неблагоприятные для сохранности алмазов термодинамические условия, что привело к появлению дефектных алмазов. Различия алмазоносности, гранулометрического состава, количества окрашенных алмазов, кристаллов с включениями графита, трещиноватых и поврежденных камней из жил трубок Мир, Спутник, Интернациональная и др. являются индикаторами различных термодинамических условий формирования этой природной рудной системы (вариации вещественного и газового составов, перепады РТ-условий). Анализ результатов сравнительного изучения алмазов из плотных кимберлитов и продуктов их выветривания позволил наметить определенные тенденции эволюции алмаза в гипергенных условиях: а) в КВ кимберлитов значительно увеличивается алмазоносность (природное обогащение), что связано с разуплотнением кимберлитовой руды в процессе корообразования; б) существенно увеличивается доля крупных алмазов (класс  $-8+4$  мм) и уменьша-

ется доля более мелких групп; в) резко уменьшается количество дефектных алмазов (двойников, сростков и кристаллов с включениями графита); г) доля окрашенных кристаллов в целом уменьшается и повышается содержание бесцветных кристаллов; д) в КВ кимберлитов меньше алмазов, обнаруживающих синее и желтое свечение в ультрафиолетовых лучах, а значительно больше камней с розовым, зеленым и оранжевым свечением.

Подводя итоги исследований по сопоставлению текстурно-структурных типов кимберлитовых пород сложнопостроенных трубок СП по алмазоносности, морфологическим и оптическим характеристикам алмазов, можно отметить существование различий в алмазоносности разных фаз внедрения кимберлитов, что обусловлено различным уровнем заложения и длительности функционирования образующих их магматических очагов, физико-химическими свойствами исходных составляющих, а также скоростью подъема и характером продвижения кимберлитовой магмы в процессе разных этапов кимберлитобразования. Все основные разновидности кимберлитов и включения в них, обнаруженные в верхних частях диатрем, найдены и на глубине, причем не отмечено зональности в распределении ксенолитов. Интенсивность замещения последних вторичными минералами зависит от степени измененности кимберлитов, вмещающих эти ксенолиты. Отмеченная нередко повышенная степень переработки ксенолитов на глубине, по сравнению с верхними горизонтами, связана с воздействием на кимберлиты и содержащиеся в них ксенолиты высокоминерализованных вод, локализованных в пределах мощных залежей соленосных толщ во вмещающих кимберлиты СП кембрийских отложений. Сравнительное исследование крупности, морфологии, оптических свойств кристаллов и алмазоносности пород диатрем подтверждает различие между выделенными разновидностями КВ различных фаз внедрения. Особенности происхождения и изверже-

ний кимберлитовых расплавов могли влиять на преобразование первоначальной формы кристаллов алмаза, что вызвано их растворением (иногда до полного уничтожения) и коррозией. При оценке продуктивности кимберлитовых трубок необходимо учитывать реальные соотношения в диатремах интрузивных и эксплозивных процессов кимберлиитообразования, которые меняются во времени. Изложенные материалы позволяют предполагать, что чем большие объёмы трубок будут сложены ПК интрузивных фаз внедрения, тем ниже будет их алмазоносность, что подтверждено результатами опробования многих диатрем на СП. Для всех разрабатываемых кимберлитовых трубок этого региона с глубиной увеличивается объём КБ, что подчеркивает их рентабельную оценку. Различная продуктивность выделенных типов кимберлитовых пород имеет большое практическое значение для выбора оптимального режима обогащения пород. Для повышения эффективности процесса обогащения отдельных разновидностей КБ следует учитывать их различия в соотношениях ксенолитов, петрофизических свойствах, распределении породообразующих минералов, характере вторичной минерализации и насыщенности алмазами.

#### Библиографический список

- Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Харьков А.Д., Соколов В.Н.* Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитов // Минерагенез зоны гипергенеза. М.: Наука, 1980. С.45-54.
- Бартошинский З.В.* Сравнительная характеристика алмазов из различных алмазоносных районов Западной Якутии // Геология и геофизика. 1961. №6. С.40-50.
- Благулькина В.А.* Петрохимические типы кимберлитов Сибири // Сов. геология. 1969. №7. С.60-70.
- Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г.* Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. Новосибирск: Наука, 1997. 557 с.
- Зинчук Н.Н.* Постмагматические минералы кимберлитов. М.: Недра, 2000. 538 с.
- Зинчук Н.Н., Зуев В.М., Коптиль В.И., Черный С.Д.* Стратегия ведения и результаты алмазопоисковых работ // Горный вестник. 1997. №3. С.53-57.
- Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М.: Недра, 2003. 607 с.
- Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Крайнов А.В.* Кимберлиты в истории Земли // Труды НИИ геологии ВГУ / Воронеж. гос. ун-т. Воронеж, 2013. Вып.68. 100 с.
- Зинчук Н.Н., Спецус З.В., Зуенко В.В., Зуев В.М.* Кимберлитовая трубка Удачная (вещественный состав и условия формирования). Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск, 1993. 147 с. .
- Зинчук Н.Н., Харьков А.Д., Мельник Ю.М., Мовчан Н.И.* Вторичные минералы кимберлитов. Киев: Наукова думка, 1987. 282 с.
- Каминский Ф.В.* Закономерности размещения кимберлитовых (разнофациальных) и родственных им пород на Сибирской платформе // Докл. АН СССР. 1972. Т.204 №5. С.1187-1190.
- Крючков А.И., Харьков А.Д., Похиленко Н.П.* Идентификация кимберлитовых тел, подвергнутых динамическому воздействию трапшов (на примере системы тел в районе трубки Юбилейная, Якутия) // Геология и геофизика. 1994. №3. С.12-15.
- Милашев В.А.* Кимберлиты и глубинная геология. Л.: Недра, 1990. 167 с.
- Никишов К.Н.* Петролого-минералогическая модель кимберлитового процесса. М.: Наука, 1984. 212 с.
- Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. М.: Наука, 1984. 264 с.
- Францессон Е.В.* Петрология кимберлитов. М.: Недра, 1968. 198 с.
- Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов Мира. М.: Недра, 1998. 555с.

## Specific Features of Typification and Diamondiferousness of Kimberlites

N.N. Zinchuk

Western-Yakutian Scientific Center of the Sakha Republic Academy of Sciences 4/1 Lenin Str., Mirny 678170, Russia

E-mail: nnzinchuk@rambler.ru

Most of the studied kimberlite diatremes represent the multiphase pipes, where each magmatic phase of intrusion, formed inside diatremes, is composed by kimberlites of specific petrographic and petrochemical type characterized by the number of stable, slightly changing with depth typomorphic features. In the same diatreme, kimberlites of different intrusion phases differ in a correlation of porphyritic and clastic structural elements, and in a content of indicator minerals. Carried out studies indicated sufficient variation in diamondiferousness of different intrusion phases of kimberlites, which is controlled by different location depth and duration of the source magmatic pocket functioning, physical-chemical properties of initial components, as well as by velocity of ascent and character of kimberlite magma advance at the different kimberlite-formation stages. Kimberlite breccia of the completion stages of pipes formation are the most productive in comparison with porphyritic kimberlites of the early intrusion phases. For better assessing of the kimberlite pipes productivity, it is necessary to take into consideration the real relationship between the intrusive and explosive processes of kimberlite-formation, which usually vary in time.

Key words: *kimberlite pipes, kimberlite-formation, diamonds and diamondiferousness, intrusive and explosive processes, minerals typomorphism.*

### References

- Afanasyev V.P., Zinchuk N.N., Kharkiv A.D., Sokolov V.N. 1980. Zakonomernosti izmeneniya mantiynykh mineralov v kore vyvetrivaniya kimberlitov [Regularities of mantle minerals alteration in the kimberlites weathering crust]. In Minerageniya zony gipergeneza. Nauka, Moskva, pp. 45-54. (in Russian)
- Bartoshinskiy Z.V. 1961. Sravnitel'naya kharakteristikaalmazov iz razlichnykh almazonosnykh rayonov Zapadnoy Yakutii [Comparative characteristics of diamonds from various diamondiferous regions of Western Yakutia]. Geologiya i geofizika. 6:40-50. (in Russian)
- Blagulkina V.A. 1969. Petrokhimicheskie tipy kimberlitov Sibiri [Petrochemical types of kimberlites of Siberia]. Sov. geologiya. 7:60-70. (in Russian)
- Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Kuznetsova L.G. 1997. Petrokhimicheskie modeli almaznykh mestorozhdeniy Yakutii [Petrochemical models of diamond deposits of Yakutia]. Nauka, Novosibirsk, p. 557. (in Russian)
- Zinchuk N.N. 2000. Postmagmaticheskie mineraly kimberlitov [Postmagmatic kimberlite minerals]. Nedra, Moskva, p. 538. (in Russian)
- Zinchuk N.N., Zuev V.M., Koptil V.I., Chernyy S.D. 1997. Strategiya vedeniya i rezultatyalmazoposkovykh rabot [Strategy of directing and results of diamond exploration]. Gornyyvestnik. 3:53-57. (in Russian)
- Zinchuk N.N., Koptil V.I. 2003. Tipomorfizmalmazov Sibirskoy platform [Typomorphism of the Siberian Platform diamonds]. Nedra, Moskva, p. 607. (in Russian)
- Zinchuk N.N., Savko A.D., Kraynov A.V. 2013. Kimberlity v istorii Zemli [Kimberlites in the Earth history]. Institut geologii VGU, Voronezh, p. 100. (in Russian)
- Zinchuk N.N., Spetsius Z.V., Zuenko V.V., Zuev V.M. 1993. Kimberlitovaya trubka Udachnaya (veshchestvennyy sostav i usloviya formirovaniya) [Kimberlite pipe Udachnaya (composition and conditions of formation)]. NGU, Novosibirsk, p. 147. (in Russian)
- Zinchuk N.N., Kharkiv A.D., Melnik Yu.M., Movchan N.I. 1987. Vtorichnye mineraly kimberlitov [Secondary minerals of kimberlites]. Naukova dumka, Kiev, p. 282. (in Russian)
- Kaminskiy F.V. 1972. Zakonomernosti razmeshcheniya kimberlitovykh (raznofatsialnykh) i rodstvennykh im porod na Sibirskoy plat-

- forme [Regularities of allocation of kimberlites (different in facies) and related to them rocks on the Siberian Platform]. Dokl. AN SSSR. 204(5):1187-1190. (in Russian).
- Kryuchkov A.I., Kharkiv A.D., Pokhilenko N.P.* 1994. Identifikatsiya kimberlitovykh tel, podvergnutykh dinamicheskomu vozdeystviyu trappov (na primere sistemy tel v rayone trubki Yubileynaya, Yakutiya) [Identification of kimberlite bodies subjected to dynamic impact of traps (on the example of a system of bodies in the region of pipe Yubileynaya, Yakutia)]. Geologiya i geofizika. 3:12-15. (in Russian)
- Milashhev V.A.* 1990. Kimberlity i glubinnaya geologiya [Kimberlites and deep geology]. Nedra, Leningrad, p. 167. (in Russian).
- Nikishov K.N.* 1984. Petrologo-mineralogicheskaya model kimberlitovogo protsessa [Petrologic-mineralogical model of the kimberlite process]. Nauka, Moskva, p. 212. (in Russian).
- Orlov Yu.L.* 1984. Mineralogiya almaza [Mineralogy of diamond]. Nauka, Moskva, p. 264. (in Russian).
- Frantsesson E.V.* 1968. Petrologiya kimberlitov [Petrology of kimberlites]. Nedra, Moskva, p. 198. (in Russian).
- Kharkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I.* 1998. Korennyye mestorozhdeniyaalmazov Mira [Primary diamond deposits of the World]. Nedra, Moskva, p. 555. (in Russian).