

УДК 552.326.6:553.81

М. М. ЗІНЧУК, д-р геол.-мінерал. наук, професор, академік АН РС (Я), голова

Західноякутського наукового центру (ЗЯНЦ) Академії наук Республіки Саха (Якутія), м. Мирний, nzninchuk@rambler.ru, ORCID-0000-0002-9682-3022

ПРО ПРОДУКТИВНІСТЬ РІЗНИХ ТИПІВ КІМБЕРЛІТІВ

О ПРОДУКТИВНОСТИ РАЗНЫХ ТИПОВ КИМБЕРЛИТОВ

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Большинство изученных кимберлитовых диатрем Сибирской платформы представляют собой многофазные трубки. Каждая магматическая фаза внедрения кимберлитов характеризуется специфическим петрографическим и петрохимическим составом. 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. Отмечено существенные различия в алмазности разных фаз внедрения кимберлитов, что обусловлено разным уровнем заложения и длительности функционирования образующих их магматических очагов, физико-химическими свойствами исходных составляющих, скоростью подъема и продвижения кимберлитовой магмы в процессе кимберлитобразования. Кимберлитовые брекчии завершающих этапов формирования трубок являются более продуктивными по сравнению с порфировыми кимберлитами ранних интрузивных фаз внедрения.

Ключевые слова: кимберлитовые трубки, кимберлитобразование, Сибирская платформа, алмазы и алмазность, интрузивные и взрывные процессы, типоморфизм минералов.

N. N. Zinchuk, West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS, Mirny, nzninchuk@rambler.ru, ORCID-0000-0002-9682-3022

MATERIAL ASPECTS OF KIMBERLITE ROCKS PRODUCTIVITY

Most of investigated kimberlite diatremes of the Siberian platform represent multiphase pipes. Each magmatic phase of intrusion, formed inside diatremes, is composed by kimberlites with specific petrographic and petrochemical type possessing a number of stable, weakly changing with depth typomorphic features. Kimberlites of different intrusion phases in the same diatreme differentiate by both correlation of porphyritic and clastic structural elements and content of indicator minerals. Carried out investigations indicated sufficient distinctions in diamondiferousness of different intrusion phases of kimberlites, which is stipulated by different level of emplacement and duration of functioning of forming them magmatic hotbeds, physical-chemical properties of initial components, as well as by velocity of ascent and character of kimberlite magma advance in the process of different kimberlite-formation stages. Kimberlite breccias of completion stages of pipes formation are most productive in comparison with porphyritic kimberlites of early intrusive penetration phases. Specific features of origin and eruptions of kimberlite melts could sufficiently impact transformation of initial diamond crystals shape, which is caused by their dissolution (sometimes to complete destruction) and corrosion. When assessing productivity of kimberlite pipes it is necessary to consider real correlations of intrusive and explosive processes of kimberlite-formation in diatremes, which usually change in time. Stated materials make it possible to assume that the greater volumes of pipes are composed by porphyritic kimberlites of intrusive penetration phases, the lower is their diamondiferousness, which is confirmed by sampling results of many diatremes on the Siberian platform. The volume of kimberlite breccias increases with depth for all kimberlite pipes of this region that are under development, which emphasizes their commercial valuation.

Keywords: kimberlite pipes, kimberlite-formation, Siberian platform, diamonds and diamondiferousness, intrusive and explosive processes, typomorphism of minerals.

Неравномерное распределение алмазов в кимберлитовых диатремах [1–3, 10, 12, 16–20] существенно осложняет плановую отработку коренных месторождений. Выявление особенностей вертикальной изменчивости алмазности кимберлитовых пород до глубины их рентабельной отработки является одной из главнейших задач и проблем отработки таких месторождений. Несмотря на в целом значительную изученность кимберлитовых диатрем Сибирской платформы (СП), вопросы их алмазности 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. Кроме того, имеются определенные некоторые элементы субъективизма при определении петрографических типов кимберлитов различными исследователями [4, 6–9, 13–15, 21–36]. Наиболее детально вопросы изменения алмазности различных типов кимберлитов изучались на примере *трубки Мир*, где многие исследователи получили

данные об их различии. При этом выделяется ими различное количество петрографических типов (от трех до шести и более), которые по-разному распространены как в плане, так и на разведанную (до 1200 м) глубину. Кимберлитовая трубка Мир на поверхности имеет 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 подводных даек. Верхние горизонты трубки Мир образовались в результате трехфазного внедрения кимберлитовой расплава [7–11]. 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 30x120 м. Контакты этого тела с вмещающими кимберлитовыми брекчиями секущие, в зоне контакта широко развита сульфидная минерализация. Трехфазность

строения нижних горизонтов диатремы установлена [21–24, 28–31] также по изучению керна, вскрытого скважинами при глубоком бурении с целью оценки продуктивности этой части месторождения. Первая фаза внедрения здесь слагает северо-западную часть диатремы. Кимберлиты второй фазы внедрения образуют её юго-восточную часть. Кимберлитовые породы третьей фазы слагают дайкообразное тело размером 30×120 м. Между кимберлитами первой и второй фаз внедрения (на глубину около 1 км) прослеживается зона сочленения (“шовная зона”) подводных каналов, обогащенная ксенолитами вмещающих пород (“ксенолитовый пояс”). Было установлено [5, 10, 12], 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, а автолитовые кимберлитовые брекчии (АКБ) максимальной алмазоносностью. Существенное влияние на различие в алмазоносности оказывает присутствие кристаллов средних и крупных классов [10, 12]. По гранулометрическому составу и морфологическим особенностям алмазов, окраске и степени дефектности кристаллов на глубоких горизонтах месторождения выделено [17, 33] два участка на северо-западе и юго-востоке трубки, при этом никак не обособляясь. Здесь отмечено различие по алмазоносности магматических фаз внедрения, а также в содержании 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 [7–10, 35, 36], 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 пород обусловлено повышенным содержанием ксеногенного материала вмещающих трубки терригенно-карбонатных пород и влиянием на кимберлиты пневматолитово-гидротермальных растворов [13–15]. 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 и совпадает она с пережимом диатремы, рассекая её в почти меридиональном направлении на две части. В результате геологоразведочных работ с подсчетом полезного компонента отмечено продолжение ксенолитового пояса и на глубоких (до 1 000 м) горизонтах, образуя своеобразную шовную зону, по которой сочленяются два самостоятельных тела, имеющие на глубине изолированные подводные каналы [15, 28–31, 36]. Слабоизмененные кимберлиты трубки отличаются высокой магnezальностью, а иногда и повышенным содержанием K_2O . Слабо или практически неизмененные 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, 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 диатремы содержат переменное количество обломочного материала терригенно-карбонатных пород чехла платформы, траппов и ксенолитов пород верхней мантии [28, 34, 36].

Внутритрубчатые 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 граната, оливина и пикроильменита. Внутритрубчатые дайки вскрыты разведочными скважинами на глубинах 1004,7–1005,2 и 1 258 м [17, 28, 36]; ширина их достигает несколько десятков сантиметров. Дайковый кимберлит представляет собой мелкопорфировую породу темно-серого цвета, сложенную псевдоморфозами по оливины и многочисленными чешуйками и пластинчатыми кристаллами флогопита светло-коричневого цвета. Основная масса пород состоит из агрегатов серпентина с примесью серпентина. Помимо внутритрубчатых даек, при разведке трубки были вскрыты и другие дайковые тела кимберлитов, которые представлены темно-серыми плотными кимберлитами 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*, имеющая в плане размеры 140×90 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 подводную 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 – подводный 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 расстояние 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 [15, 22, 35, 36]. Кимберлитовые породы даек отличаются от кимберлитов трубок Мир и Спутник высоким содержанием карбонатного материала, повышенной ролью пиропса и пикроильменита, а также титана и фосфата. Несколько дайковых тел кимберлитов сложной морфологии отмечено под пластовым телом долеритов на глубине около 500 м. Дайковый кимберлит верхних и глубоких горизонтов существенно различаются, что различается, прежде всего, в увеличении степени карбонатизации более нижних их частей. Существенно 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 [2, 3, 10, 17]. Алмазы представлены октаэдрами (до 61 %), ромбододекаэдрами (до 10 %), комбинированными кристаллами (до 29 %) и кубами (меньше 1 %). 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 до 18 %, а шпинелевых двойников – до 10 %. Поскольку трубки Мир и Спутник, дайки и силлоподобное тело представляют собой единую взаимосвязанную рудную систему, нами [1, 3, 4, 17] предпринята первая попытка провести сравнительное изучение особенностей алмазов из различных типов пород на всю глубину пробуренных колонковых скважин при разведке диатрем (нижние части) и их производственной отработки (верхние горизонты). При исследовании алмазов основное внимание уделялось морфологическим, оптическим и другим свойствам 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 кимберлитовых брекчий. 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 фотолюминесценция 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 [28, 36]. 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 колеблет-

ся в широких пределах [17, 36]. Несмотря на в целом почти равномерное распределение алмазов по классам крупности, если не учитывать конкретных разновидностей пород, для образований различных 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 роль 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 приконтактовых зонах кимберлитов с вмещающими трубку породами увеличивается количество мелких кристаллов, тогда как количество крупных становится больше по мере приближения к центру диатремы. При этом содержание алмазов в КБ приконтактовых 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 аналогичных параметров в этих же породах верхних горизонтов, что связано с динамикой заполнения диатремы и скоростью кристаллизации кимберлитового субстрата.

По минералогическим особенностям в кимберлитовых породах трубки Мир преобладают бесцветные, реже эпигенетически окрашенные в дымчато-коричневые цвета (из-за пластической деформации) алмазы I разновидности по Ю. Л. Орлову [32] 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 среди месторождений мира содержание бесцветных плоскогранных октаэдров с острыми, иногда слегка округленными ребрами, названными кристаллами “мирнинского” типа. Из морфологических типов кристаллов преобладают [17] тонколаминарные 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 четыре 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 харак-

терно повышенное (до 19 %) содержание твердых включений эклогитовой ассоциации, что обычно свойственно более ранней и менее глубинной фазе кимберлитового магматизма [17, 30, 36]. В кимберлитовых жилах, откартированных в районе куста трубки Мир, доля мелких алмазов достигает до 80 %, а среднего класса – до 19 %. Преобладающее количество алмазов в жилах имеют ромбододекаэдрический габитус [2, 3, 17]. Обычно они сложно деформированные, трещиноватые, с коричневой окраской с полосами пластической деформации. Развитые в кимберлитовых жилах мелкие алмазы и их осколки, коричнево-дымчатые, графитизированные, корродированные кристаллы указывают на сложные термодинамические условия их образования (перепады давления, температуры и газового режима).

Сопоставление имеющихся материалов по алмазоносности и их связи со структурно-текстурными особенностями кимберлитов трубок Ботуобинская (Средне-Мархинский алмазоносный район), Удачная и Айхал (Далдыно-Алакитский алмазоносный район) проводилось также по керну разведочного материала с привязкой к петрографическим типам. Эти трубки сформированы [17, 36] 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 (шаровые) завершающих эксплозивных фаз внедрения характеризуются в целом повышенной алмазоносностью, по сравнению с предшествующими по образованию интрузивными порфиоровыми кимберлитами. Это соотношение (в условных единицах) для восточного тела трубки Удачная составляет 1,3:1, западного – 1,5:1, трубок Айхал и Ботуобинская – 1:1,5. Примерно такое же соотношение отмечено и для трубки Нюрбинская. Превалирует мнение, что последние фазы внедрения кимберлитов у многофазных трубках более алмазоносны. Используя методы математической статистики, определено [24–26], что участки с различной алмазоносностью в трубках располагаются соответственно распространению кимберлитов разных фаз внедрения, причем кимберлиты завершающих этапов формирования характеризуются повышенной алмазоносностью. 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 [8, 16, 33]. Обычно ранние фазы внедрения кимберлитов трубки Мир менее алмазоносны, содержат минимальное количество октаэдров по сравнению с более поздними фазами внедрения. Большинство алмазов из кимберлитовых жил имеют ромбододекаэдрический габитус; кристаллы сильно деформированы, трещиноваты, имеют дефектную окраску. Значительная их часть содержит включения эпигенетического графита, а поверхности ромбододекаэдров (с шагреневым рельефом) свидетельствуют о пластической деформации алмаза. Исследуя типоморфные особенности алмазов [1–3, 12, 16] трубок с промышленной алмазоносностью (Удачная, Сытыканская, Юбилейная, Комсомольская и др.), установлено [16–18, 36], что наиболее высокопродуктивными являются рудные столбы, сложенные АКБ (шаровыми). 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 порфиоровыми кимберлитами, для которых характерно увеличение количества кристаллов ромбододекаэдров, с уменьшением числа октаэдров, увеличение численности округлых алмазов. Образование додекаэдрических поверхностей исследователи связывают с условиями растворения при повышенных температурах. Результаты экспериментов по искусственному получению алмаза [17] свидетельствуют о том, что габитус кристалла варьирует в зависимости от температуры. По мере повышения температуры появляются куб-октаэдр-додекаэдры, что позволяет предполагать более высокое содержание крупных фенокристов оливина в порфиоровом кимберлите (ПК). Последние во всех изученных трубках характеризуются более мощными келифитовыми каймами на гранатах ультраосновной ассоциации. Это свидетельствует о более длительной их реакции с кимберлитовым расплавом, то есть 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, что отразилось на их соотношении в настоящее время. Однако, такая закономерность характерна не всем диатремам. Например, в трубке Дальняя (Далдыно-Алакитский алмазоносный район) более алмазоносными оказались ПК. Обнаружены также различия [16] в распространении кристаллов с разным типом их внутреннего строения в кимберлитах разных фаз внедрения в кимберлитах Накынского кимберлитового поля (трубки Ботуобинская и Нюрбинская). Установлено, что среди алмазов из шаровой (автолитовой) кимберлитовой брекчии повышено содержание кристаллов с желтым и желто-зеленым свечением и снижено с розовым, розовосириновым и оранжевым свечением, 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 [11, 36] вопросы взаимосвязи химического состава кимберлитов и алмазоносности, которые базировались на результатах химического анализа более 3000 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 (Малоботуобинский алмазоносный район), Сытыканская, Юбилейная и Удачная (Далдыно-Алакитский алмазоносный район) 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 [11] гипотезу о наличии связи между химическим составом кимберлитов разрабатываемых месторождений СП и их алмазоносностью. Имеющиеся базы данных химических анализов были разделены по уровням алмазоносности для отдельных диатрем на 50 групп, для каждой из которых были вычислены средние значения,

которые затем были использованы 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 магниальностью, 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.

Таким образом, на основании изучения геологического строения трубок и жил, исследования алмазоносности кимберлитов, морфологии, гранулометрии и окраски алмазов проведена детализация модели пространственного размещения жильных тел, трубок Мир и Спутник. Установлено, что жильные тела трубок 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 их жил, трубок Мир и Спутник являются индикаторами различных термодинамических условий формирования этой природной рудной системы (вариации вещественного и газового составов, перепады РТ-условий). Подводя итоги исследованиям по сопоставлению текстурно-структурных типов кимберлитовых пород сложнопостроенных трубок СП по алмазоносности, морфологическим и оптическим характеристикам алмазов, можно отметить о существовании различий в алмазоносности разных фаз внедрения кимберлитов, что обусловлено разным 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 КБ различных фаз внедрения. Особенности происхождения и извержений 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 кимберлитобразования, которые меняются во времени. Изложенные материалы позволяют предполагать, чем большие объемы трубок будут сложены порфиоровыми кимберлитами 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 объем КБ, что подчеркивает их рентабельную оценку. Различная алмазоносность 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 свойств, распределения породообразующих минералов, характер вторичной минерализации и насыщенности алмазами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аргунов К. П., Зинчук Н. Н.* Некоторые вопросы онтогении природных алмазов//Сб.: Исследование высокобарических минералов. – М.: ИФЗ РАН, 1987. – С. 166–186.
2. *Афанасьев В. П., Иванов И. Н., Коптиль В. И., Харьков А. Д.* Типоморфизм алмазов из кимберлитовых жил и возможные источники алмазоносных россыпей севера Западной Якутии//Докл. АН СССР. Сер. геол. – 1974. – Т. 214. – № 2. – С. 425–428.
3. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П.* Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск: Гео, 2010. – 650 с.
4. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Харьков А. Д., Соколов В. Н.* Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитов//Сб.: Минералогия зоны гипергенеза. – М.: Наука, 1980. – С. 45–54.
5. *Бартошинский З. В.* Сравнительная характеристика алмазов из различных алмазоносных районов Западной Якутии//Геология и геофизика. – 1961. – № 6. – С. 40–50.
6. *Благулькина В. А.* Петрохимические типы кимберлитов Сибири//Сов. геология. – 1969. – № 7. – С. 60–70.
7. *Бобривич А. П., Бондаренко М. И., Гневушев М. А.* и др. Алмазные месторождения Якутии. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – 527 с.
8. *Бобривич А. П., Илупин И. П., Козлов И. Т.* и др. Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. – М.: Недра, 1964. – 190 с.
9. *Богатых М. М., Пономаренко Г. А., Серенко В. П.* Вещественный состав и условия формирования кимберлитовых пород трубки Сытыканская//Бюлл. научно-технич. информации. – Якутск: ЯФ СО АН СССР. – С. 3–13.
10. *Боткунов А. И.* Некоторые закономерности в распределении алмазов в трубке Мир//ЗВМО. – 1983. – Ч. 93. – Вып. 4. – С. 424–435.
11. *Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г.* Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. – Новосибирск: Наука, 1997. – 557 с.
12. *Гневушев М. А., Бартошинский З. В.* К морфологии якутских алмазов//Труды ЯФ СО АН СССР. Сер. геол. – 1959. – Вып. 4. – С. 74–92.
13. *Зинчук Н. Н.* Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ//Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
14. *Зинчук Н. Н.* Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков и отработки алмазных месторождений). – Новосибирск: НГУ, 1994. – 240 с.
15. *Зинчук Н. Н.* Постмагматические минералы кимберлитов. – М.: Недра, 2000. – 538 с.
16. *Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Черный С. Д.* Стратегия ведения и результаты алмазопроисловых работ//Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
17. *Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: Недра, 2003. – 603 с.

18. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли//Труды НИИ геологии ВГУ. Учебное пособие. – Вып. 68. – Воронеж: ВГУ, 2013. – 100 с.

19. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т. Тектоника и алмазоносный магматизм. – Воронеж: ВГУ, 2004. – 426 с.

20. Зинчук Н. Н., Спецус З. В., Зуенко В. В., Зувев В. М. Кимберлитовая трубка Удачная (вещественный состав и условия формирования). – Новосибирск: НГУ, 1993. – 147 с.

21. Зинчук Н. Н., Харьков А. Д., Мельник Ю. М., Мовчан Н. П. Вторичные минералы кимберлитов. – Киев: Наукова думка, 1987. – 282 с.

22. Зольников Г. В., Маршинцев В. К. Гидротермальная стадия серпентинизации кимберлитов трубки Мир//Геология и геофизика. – 1965. – № 5. – С. 149–153.

23. Илупин И. П., Каминский Ф. В., Францессон Е. В. Геохимия кимберлитов. – М.: Недра, 1978. – 352 с.

24. Каминский Ф. В. Закономерности размещения кимберлитовых (разнофациальных) и родственных им пород на Сибирской платформе//Докл. АН СССР. – 1972. – Т. 204. – № 5. – С. 1187–1190.

25. Крючков А. И., Харьков А. Д., Похиленко Н. П. Идентификация кимберлитовых тел, подвергнутых динамическому воздействию трапсов (на примере системы тел в районе трубки Юбилейная, Якутия)//Геология и геофизика. – 1994. – № 3. – С. 12–15.

26. Кухаренко Н. А. К проблеме зональности кимберлитовых провинций//Сб.: Проблемы кимберлитового магматизма. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 16–23.

27. Малич Н. С., Масайтис В. Л., Сурков В. С. Сибирская платформа. – Л.: Недра, 1987. – 431 с.

28. Маршинцев В. К. Вертикальная неоднородность кимберлитовых тел Якутии. – Новосибирск: Наука, 1986. – 239 с.

29. Милашев В. А. Кимберлитовые провинции. – Л.: Недра, 1974. – 224 с.

30. Милашев В. А. Кимберлиты и глубинная геология. – Л.: Недра, 1990. – 167 с.

31. Никишов К. Н. Петролого-минералогическая модель кимберлитового процесса. – М.: Наука, 1984. – 212 с.

32. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. – М.: Наука, 1984. – 264 с.

33. Помазанский Б. С. Внутреннее строение кристаллов алмаза трубок Накынского поля//Сб.: Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. – Воронеж: ВГУ, 2001. – С. 413–422.

34. Францессон Е. В. Петрология кимберлитов. – М.: Недра, 1968. – 198 с.

35. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Геолого-генетические основы шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. – М.: Недра, 1995. – 348 с.

36. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов Мира. – М.: Недра, 1998. – 555 с.

REFERENCES

1. Argunov K. P., Zinchuk N. N. Some issues of natural diamonds ontogeny//Coll.: Investigation of high-barometric minerals. – Moskva: IEP RAS, 1987. – P. 166–186. (In Russian).

2. Afanasev V. P., Ivaniv I. N., Koptil V. I., Harkiv A. D. Typomorphism of diamonds from kimberlite veins and possible sources of diamondiferous placers of the north of Western Yakutia//Rep. of the USSR AS. Geol. series. – 1974. – Vol. 214. – № 2. – P. 425–428. (In Russian).

3. Afanasev V. P., Zinchuk N. N., Pohilenko N. P. Prospecting mineralogy of diamond. – Novosibirsk: Geo, 2010. – 650 p. (In Russian).

4. Afanasev V. P., Zinchuk N. N., Harkiv A. D., Sokolov V. N. Regularities of mantle minerals alteration in the crust of weathering of kimberlites//Coll.: Minerageny of hypergenesis zone. – Moskva: Science, 1980. – P. 45–54. (In Russian).

5. Bartoshinskij Z. V. Comparative characteristics of diamonds from various diamondiferous regions of Western Yakutia//Geology and geophysics. – 1961. – № 6. – P. 40–50. (In Russian).

6. Blagulkina V. A. Petrochemical types of kimberlites of Siberia//Sov. geology. – 1969. – № 7. – P. 60–70. (In Russian).

7. Bobrievich A. P., Bondarenko M. I., Gnevushev M. A. et al. Diamond deposits of Yakutia. – Moskva: Gosgeoltekhizdat, 1959. – 527 p. (In Russian).

8. Bobrievich A. P., Ilupin I. P., Kozlov I. T. et al. Petrography and mineralogy of kimberlite rocks of Yakutia. – Moskva: Nedra, 1964. – 190 p. (In Russian).

9. Bogatyh M. M., Ponomarenko G. A., Serenko V. P. Material composition and conditions of formation of pipe Sytykansкая kimberlite

rocks//Bul. of science-technical information. – Yakutsk: SB YS of the USSR AS. – P. 3–13. (In Russian).

10. Botkunov A. I. Some regularities in distribution of diamonds in pipe Mir//ZWMO. – 1983. – P. 93. – Iss. 4. – P. 424–435. (In Russian).

11. Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. Petrochemical models of diamond deposits of Yakutia. – Novosibirsk: Science, 1997. – 557 p. (In Russian).

12. Gnevushev M. A., Bartoshinskij Z. V. To morphology of Yakutian diamonds//Proceedings of SB YS of the USSR AS. Geol. series. – 1959. – Iss. 4. – P. 74–92. (In Russian).

13. Zinchuk N. N. Comparative characteristics of material composition of kimberlite rocks' crust of weathering of the Siberian and East-European platforms//Geology and geophysics. – 1992. – № 7. – P. 99–109. (In Russian).

14. Zinchuk N. N. Crusts of weathering and secondary alterations of kimberlites of the Siberian platform (in connection with the problem of exploration and mining of diamond deposits). – Novosibirsk: NSU, 1994. – 240 p. (In Russian).

15. Zinchuk N. N. Postmagmatic minerals of kimberlite. – Moskva: Nedra, 2000. – 538 p.

16. Zinchuk N. N., Zuev V. M., Koptil V. I., Cherny S. D. Strategy of carrying out and results of diamond-prospecting works//Gorniy vestnik. – 1997. – № 3. – P. 53–57. (In Russian).

17. Zinchuk N. N., Koptil V. I. Typomorphism of the Siberian platform diamonds. – Moskva: Nedra, 2003. – 603 p. (In Russian).

18. Zinchuk N. N., Savko A. D., Krajnov A. V. Kimberlites in the Earth history//Proceedings of VSU geological SRI. Tutorials. – Iss. 68. – Voronezh: VSU, 2013. – 100 p. (In Russian).

19. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. Tectonics and diamondiferous magmatism. – Voronezh: VSU, 2004. – 426 p. (In Russian).

20. Zinchuk N. N., Specius Z. V., Zuenko V. V., Zuev V. M. Kimberlite pipe Udachnaya (material composition and conditions of formation). – Novosibirsk: NSU, 1993. – 147 p. (In Russian).

21. Zinchuk N. N., Harkiv A. D., Melnik Yu. M., Movchan N. P. Secondary minerals of kimberlites. – Kiev: Naukova dumka, 1987. – 282 p. (In Russian).

22. Zolnikov G. V., Marshincev V. K. Hydrothermal stage of serpentinization of kimberlite pipe Mir//Geology and geophysics. – 1965. – № 5. – P. 149–153. (In Russian).

23. Ilupin I. P., Kaminskij F. V., Francesson E. V. Geochemistry of kimberlites. – Moskva: Nedra, 1978. – 352 p. (In Russian).

24. Kaminskij F. V. Regularities of allocation of kimberlites (different in facies) and related to them rocks on the Siberian platform//Rep. of the USSR AS. – 1972. – Vol. 204. – № 5. – P. 1187–1190. (In Russian).

25. Kryuchkov A. I., Harkiv A. D., Pohilenko N. P. 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)//Geology and geophysics. – 1994. – № 3. – P. 12–15. (In Russian).

26. Kuharenko N. A. To the problem of zoning of kimberlite provinces//Coll.: Problems of kimberlite magmatism. – Novosibirsk: Science, 1989. – P. 16–23. (In Russian).

27. Malich N. S., Masajtis V. L., Surkov V. S. Siberian platform. – Leningrad: Nedra, 1987. – 431 p. (In Russian).

28. Marshincev V. K. Vertical heterogeneity of kimberlite bodies of Yakutia. – Novosibirsk: Science, 1986. – 239 p. (In Russian).

29. Milashev V. A. Kimberlite provinces. – Leningrad: Nedra, 1974. – 224 p. (In Russian).

30. Milashev V. A. Kimberlites and deep geology. – Leningrad: Nedra, 1990. – 167 p. (In Russian).

31. Nikishov K. N. Petrologic-mineralogical model of the kimberlite process. – Moskva: Science, 1984. – 212 p. (In Russian).

32. Orlov Yu. L. Mineralogy of diamond. – Moskva: Science, 1984. – 264 p. (In Russian).

33. Pomazanskij B. S. Internal structure of diamond crystals of the Nakyn field pipes//Coll.: Problems of diamond geology and some ways of their solution. – Voronezh: VSU, 2001. – P. 413–422. (In Russian).

34. Francesson E. V. Petrology of kimberlites. – Moskva: Nedra, 1968. – 198 p. (In Russian).

35. Harkiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Geologic-genetic fundamentals of heavy concentrate-mineralogical method of diamond deposits prospecting. – Moskva: Nedra, 1995. – 348 p. (In Russian).

36. Harkiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Primary diamond deposits of the World. – Moskva: Nedra, 1998. – 555 p. (In Russian).

Р у к о п и с о т р и м а н о 30.06.2015.