

Особенности алмазности разных фаз внедрения кимберлитов

Н.Н.ЗИНЧУК (Западно-Якутский научный центр АН РС (Я); 678170, г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16).

Большинство изученных кимберлитовых диатрем Сибирской платформы представляют собой многофазные трубки. Каждая магматическая фаза внедрения, сформированная внутри диатрем, сложена кимберлитом с характерным петрографическим и петрохимическим типом, обладающим 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.

Ключевые слова: кимберлитовые трубки, алмазы и алмазность, типоморфизм минералов.

Зинчук Николай Николаевич



nzninchuk@rambler.ru

Specific features of diamond potential of different kimberlite intrusion phases

N.N.ZINCHUK

Most of investigated kimberlite diatremes of the Siberian platform represent multiphase pipes. Each magmatic phase of intrusion, formed inside diatremes, is composed by kimberlites of specific petrographic and petrochemical type possessing a number of stable typomorphic features, changing a little with depth. Kimberlites of different intrusion phases in the same diatreme are differentiated by both correlation of porphyritic and clastic structural elements and content of indicator minerals.

Key words: kimberlite pipes, diamonds and diamond potential, typomorphism of minerals.

Неравномерное распределение алмазов в кимберлитовых диатремах [4–6, 9–11] существенно осложняет плановую отработку коренных месторождений. Выявление особенностей вертикальной изменчивости алмазности кимберлитовых пород до глубины их рентабельной отработки – одна из главнейших задач и проблем разработки таких месторождений. Несмотря в целом на значительную изученность кимберлитовых диатрем Сибирской платформы (СП), вопросы их алмазности во многом являются недостаточно исследованными 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 элементы субъективизма при определении петрографических типов кимберлитов различными исследователями [2, 3, 7–9, 12–20]. Наиболее детально вопросы изменения алмазности различных типов кимберлитов изучались в Малоботуобинском алмазном районе (МБАР) на примере *трубки Мир*, где многие исследователи получили данные об их различии. При этом ими выделяется различное количество петрографических типов (от 3 до 6 и более), которые по-разному распространены как в плане, так и на раз-

данную до 1200 м глубину. Кимберлитовая трубка Мир на поверхности имеет форму овала (рис. 1). Размер по длинной оси составляет 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 [4–6, 17]. 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. Кимберлитовые породы третьей фазы формируют на юго-востоке трубки вытянутое в северо-западном направлении дайковое тело размером 30×120 м. Контакты этого тела с вмещающими КБ секущие, в переходной зоне широко развита сульфидная минерализация. Трехфазность строения нижних горизонтов диатремы установлена [11, 12, 15, 16, 18–20] по изучению керна, вскрытого скважинами при глубоком бурении на диатреме с целью оценки продуктивности этой части месторождения. Между кимберлитами первой и второй фаз внедрения (на глубину около 1 км)

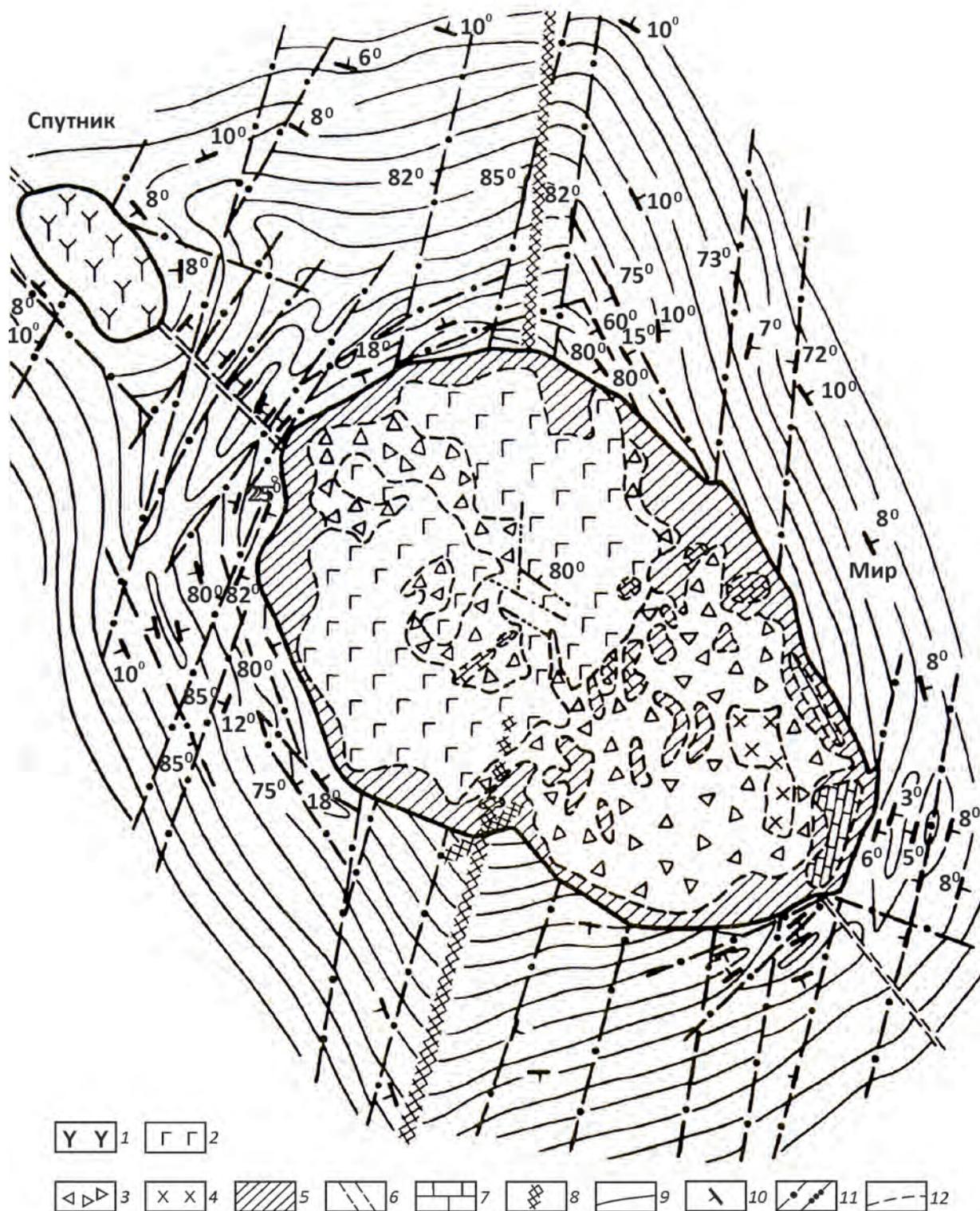


Рис. 1. Геолого-структурная схема трубок Мир и Спутник [20]:

1 – трубка Спутник; 2–4 – трубка Мир, кимберлиты фаз внедрения: 2 – первой, 3 – второй, 4 – третьей; 5 – зона эндоконтакта; 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

прослеживается зона сочленения («шовная зона») подводящих каналов, обогащенная ксенолитами вмещающих пород («ксенолитовый пояс»). Было установлено [2, 4, 6], что алмазоносность пород, слагающих трубку, в плане и по вертикали зависит от закономерностей распределения кимберлитов разных фаз внедрения в объеме рудного тела. Отмечено, что атакситовые и крупнопорфировые разновидности характеризуются минимальной, а автолитовые кимберлитовые брекчии (АКБ) – максимальной алмазоносностью. Существенное влияние на различие в алмазоносности оказывает присутствие кристаллов средних и крупных классов [4–6]. По гранулометрическому составу и морфологическим особенностям алмазов, окраске и степени дефектности кристаллов на глубоких горизонтах месторождения выделено [10] два участка на северо-западе и юго-востоке трубки. Здесь отмечено различие по алмазоносности 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. Кимберлитовые брекчии 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 [4, 17, 19–20], вдоль контакта с вмещающими породами повсеместно отмечаются своеобразные кимберлитовые породы (5–50 м), названные эндоконтактовыми. Последние не связаны с самостоятельной фазой формирования диатремы, а представляют собой своеобразные фашиальные разновидности упомянутых кимберлитовых брекчий. Возникновение таких пород обусловлено повышенным содержанием ксеногенного материала вмещающих трубки терригенно-карбонатных пород и влиянием на кимберлиты пневматолитово-гидротермальных растворов [7–9]. Породы этой зоны в диатремах наиболее интенсивно карбонатизированы и насыщены (достигая до 60% объема) ксенолитами терригенно-карбонатных пород. 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 (см. рис. 1). 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, имеющие на глубине изолированные подводящие каналы [8, 14–16, 20]. Слабоизмененные кимберлиты трубки отличаются высокой магниальностью, а ино-

гда 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 (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 кимберлитовые брекчии описываемой диатремы содержат переменное количество обломочного материала терригенно-карбонатных пород чехла платформы, траппов и ксенолитов пород верхней мантии [18, 20].

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 кимберлитовых брекчий, 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 [10, 20]; ширина их достигает несколько 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.

Кимберлитовая трубка Спутник, имеющая в плане размеры 140×90 м, расположена в 131 м на северо-восток от трубки Мир. Форма трубки овальная с вытянутой в северо-западном направлении длинной осью (см. рис. 1). 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 sillом 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 кимберлитовые брекчии от серого до грязно-серого цвета. Около трубок Мир и Спутник во вмещающих породах карьером 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 или выклиниваются, или снова соединяются с главным телом. Характер взаимоотношения даек с трубками позволяет относить их к дотрубочным образованиям, сформировавшимся в начальную стадию развития диатрем [8, 19–20]. Кимберлитовые породы даек отличаются от кимберлитов трубок Мир и Спутник высоким содержанием карбонатного материала, повышенной ролью пироба 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 различается, что выражается, прежде всего, в увеличении степени карбонатизации более нижних его 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 высокоалмазных месторождениях мира [1, 4, 10]. 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 18%, а шпинелевых двойников – 10%. Поскольку трубки Мир и Спутник, дайки и силлоподобное тело представляют собой единую взаимосвязанную рудную систему, авторами [1, 10] предпринята первая попытка провести сравнительное изучение особенностей алмазов из различных типов пород на всю глубину пробуренных колонковых сква-

жин при разведке диатрем (нижние части) и их производственной отработки (верхние горизонты). При исследовании алмазов основное внимание уделялось морфологическим, оптическим и другим свойствам кристаллов. Детально исследовались кристаллы октаэдрического габитуса, их сростки, двойники и агрегаты, 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 кимберлитовые брекчии второй фазы внедрения составляют более 80% объема тела, тогда как аналогичные породы начальной фазы отмечаются только на отдельных участках [20]. Различие в алмазоносности кимберлитовых брекчий 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 [10, 20]. Несмотря на почти равномерное распределение алмазов по классам крупности, если не учитывать конкретных разновидностей пород, для образований различных фаз отмечаются определенные различия. Так, кимберлитовые брекчии первой фазы содержат максимальное количество мелких и максимальное число крупных кристаллов. В отличие от этого, в кимберлитовых брекчиях 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 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 кимберлитовых брекчиях 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 глубо-

ких горизонтов трубки Мир значительно выше, чем аналогичных параметров в этих же породах верхних горизонтов, что связано с динамикой заполнения диа-тремы 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 [16] 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. Характерная типоморфная особенность алмазов трубки Мир – 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 тонколаминарные октаэдры со сноповидной и занозистой штриховками, превалирующие над груболаминарными камнями с полицентрически растущими гранями, сложенными как тригональными, так и дитригональными слоями роста [10]. 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 Сибирской платформы. 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 ромбододекаэдровые 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 эколгитовой ассоциации, что обычно свойственно более ранней и менее глубинной фазе кимберлитового магматизма [10, 15, 20]. 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 [1, 10]. 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).

Существенно отличается от описанных выше распределений алмазов в системе кимберлитовых диа-треем Мир и Спутник, самая большая (площадью 59 га в верхней части) *трубка Юбилейная*, находящаяся в Далдыно-Алакиском алмазоносном районе (ДААР) в 15 км к северо-западу от поселка Айхал. Рядом расположена трубка-спутник Озерная и отторженец кимберлитов [10, 13, 20]. Прорывает диа-трема (рис. 2) толщу нижнепалеозойских субгоризонтально залегающих пород осадочного чехла – кембрия, нижнего–среднего ордовика и нижнего силура (лландоверийский ярус). Трубка полностью перекрыта терригенно-эффузивными образованиями верхнего палеозоя–нижнего мезозоя, интродуцированными межпластовыми телами долеритов. Мощность перекрывающих трубку отложений составляет в среднем 66 м (в том числе трапповых интрузий от 0,5 до 33,9 м). Погребенная поверхность диа-тремы неровная. Относительное превышение северной её части над южной составляет 44–48 м. По морфологическим особенностям и вещественному составу слагающих пород трубка представляет собой сочетание типичной воронки взрыва (центральная часть) и дайкообразных тел (на флангах), формирующих в её структуре три обособленных рудных столба [5–10]. В разрезе центральный рудный столб имеет характерный трубчатый вид с чашеобразным расширением в пределах верхней кратерной части и близкую к округлой форму горизонтальных сечений. Западный и восточный рудные столбы представляют собой дайкообразные тела с извилистыми очертаниями как в плане, так и в вертикальном сечениях. Трубка сложена в основном породами двух фаз внедрения. На флангах отмечены массивные порфиновые кимберлиты (ПК) первой фазы, а центральный канал, начиная от основания чашеобразного расширения (с глубины 300 м и ниже), выполнен АКБ второй фазы. Порфиновые кимберлиты первой фазы внедрения, слагающие западный и восточный рудные столбы (см. рис. 2), занимают незначительную часть погребенной поверхности трубки, но с глубиной их доля существенно возрастает. Это плотные серо- и темно-зеленые породы с отчетливо выраженной порфировой структурой основной массы. Сложены они большим количеством псевдоморфоз по оливину с относительно редкими зернами пироба и пикроильменита, сцементированными карбонат-серпентиновой основной массой. Автолитовая брекчия (АБ) центрального столба представляет собой плотную породу с типичной брекчиевой текстурой и порфировой структурой основной массы. Наиболее сложным строением и неоднородным составом характеризуется центральная часть трубки в пределах чаши. Выполнена она различными вулканогенными породами – от вулканогенно-осадочных образований, слагающих верхнюю часть раструба, до подстилающих их туфов и туфобрекчий, инъецированными кимберлитовыми брекчиями экструзивной (завершающей) стадии формирования диа-тремы. Переход между образованиями

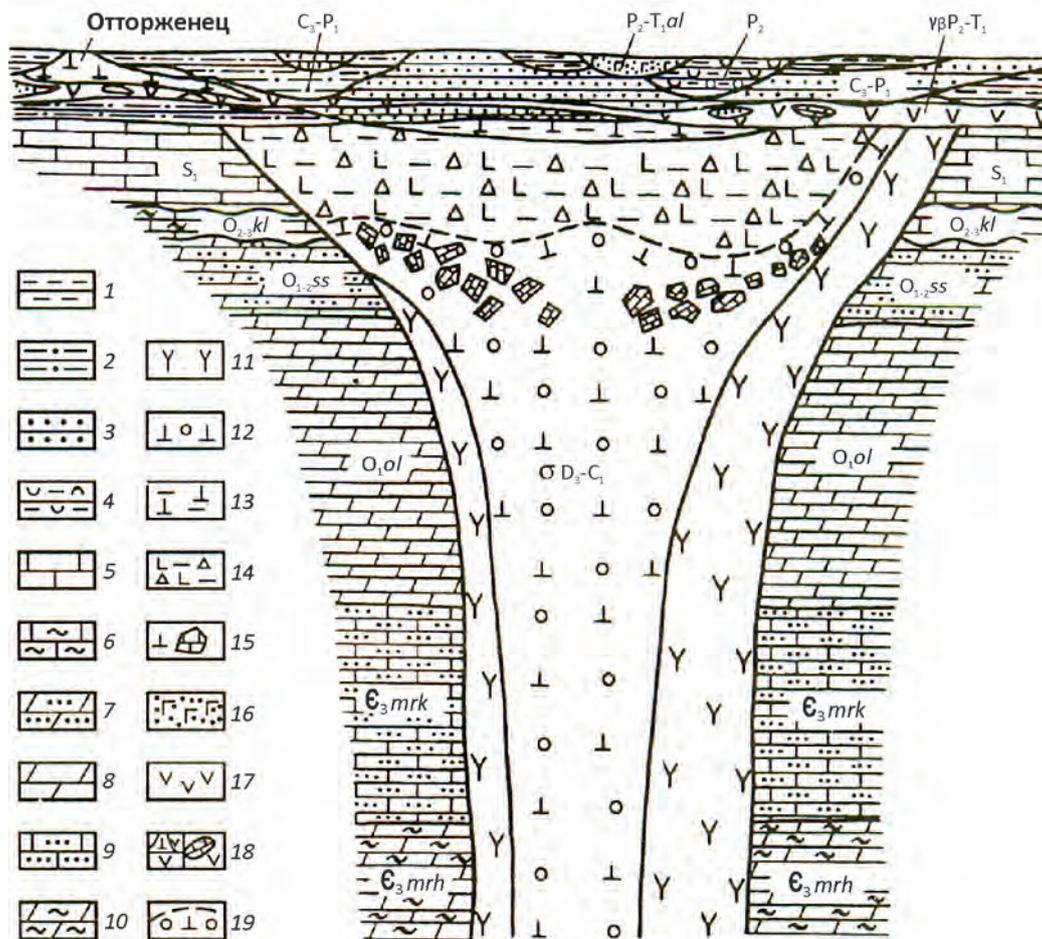


Рис. 2. Геологический разрез кимберлитовой трубки Юбилейная [20]:

1–4 – перекрывающие породы верхнего палеозоя: 1 – углистые алевролиты, 2 – песчаные алевролиты, 3 – разнозернистые песчаники, 4 – туфоалевролиты; 5–10 – вмещающие породы: 5 – известняки лландоверийского яруса меижской свиты, 6 – мергелистые и глинистые известняки кылахской свиты, 7 – доломиты и песчаные известняки сохолоохской 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 – порфириновые 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

верхней (осадочно-вулканогенной) и нижней (туфогенной) толщ кратерной фации постепенный. В нескольких десятках метров от контакта диафремы Юбилейная расположена *трубка Озерная*, имеющая в плане под перекрывающими её верхнепалеозойскими отложениями форму овала. Трубка сложена КБ, содержащей до 35% обломков осадочных пород. *Кимберлитовый Отторженец* (см. рис. 2) изолирован от обеих трубок, не имеет самостоятельного отводящего канала и заключен в породах верхнепалеозойского возраста и траппах [13–15]. Западная часть его выведена эрозией на дневную поверхность. Блок кимберлитовых пород, образующих это бескорневое тело, представляет собой срезанную

трапповым sillом приповерхностную часть юго-восточного фланга трубки Юбилейная, перемещенную на несколько сотен метров от её первоначального положения. Алмазонасность 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 неалмазонасного ксеногенного материала и развиты мелкозернистые породы. Основную массу алмазов составляют бесцветные, реже эпигенетически окрашенные в дымчато-коричневые цвета различной интенсивности кристаллы I разновидности (около 90%

от всех находок). Среди них преобладают октаэдры и переходные формы от октаэдрического габитуса к ромбододекаэдрическому (в сумме около 40%), а также ламинарные ромбододекаэдры (до 25% всех алмазов). В значительном количестве (по сравнению с другими диатремами с промышленной алмазоносностью) в трубке Юбилейная встречаются типичные округлые алмазы (в сумме свыше 10%), среди которых выделены как алмазы уральского (бразильского) типа, так и додекаэдриды с шагренью и полосами пластической деформации «жильного» типа [20]. В небольших количествах присутствуют октаэдры, кубоиды и псевдоморфные кристаллы 1 разновидности. Бесформенные осколки без признаков кристаллографической огранки составляют свыше 10% и чаще всего это кристаллы с протоматматическими сколами. Суммарное содержание окрашенных алмазов II, III, IV, VIII и VIII разновидностей [17] в трубке Юбилейная достигает 10–13%. Довольно характерным признаком для алмазов трубки Юбилейная является (рис. 3) повышенное, по сравнению с другими диатремами Алакит-Мархинского поля, количество индивидов с признаками природного травления (шрамы, матировка, коррозия, каверны и др.), которые в целом для месторождения составляют свыше 25% природных алмазов. Повышенное количество алмазов с матировкой в туфобрекчии и кимберлитовых породах зоны смещения. Типоморфными для месторождения можно считать алмазы II и IV разновидностей. Полученные результаты свидетельствуют о высоком содержании на месторождении окрашенных камней, чем отличаются от других коренных промышленных месторождений Сибирской платформы (см. рис. 3). Повышенное содержание алмазов с желто-зеленой фотолуминесценцией сближают трубку Юбилейная с другими диатремами Алакит-Мархинского кимберлитового поля и отличают от трубок Далдынского, Мирнинского и недавно открытого Накынского (рис. 4) кимберлитовых полей, для которых довольно характерным является розово-сиреневое свечение алмазов.

Сопоставление имеющихся материалов по алмазоносности и их связи со структурно-текстурными особенностями кимберлитов трубок Ботубинская (Средне-Мархинский алмазоносный район – СМАР), Удачная и Айхал (ДААР) проводилось также по керну разведочного материала с привязкой к петрографическим типам. Эти трубки сформированы [10, 20] 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 (см. рис. 4). Примерно такое же соотношение отмечено и для трубки Нюрбинская. Преобладает мнение, что последние фазы внедрения кимберлитов в многофазных трубках более алмазоносны. Использование методов математической статистики позволило установить [8–10], что участки с различной алмазоносностью в трубках расположены соответственно распространению кимберлитов разных фаз внедрения, причем породы 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 [17, 20]. Так, 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 шагреньевым рельефом) свидетельствуют о пластической деформации алмаза. При исследовании типоморфных особенностей алмазов [1, 6, 9] трубок с промышленной алмазоносностью (Удачная, Сытыканская, Юбилейная, Комсомольская и др.), установлено [9–11, 20], 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 порфиоровыми кимберлитами, для которых характерно увеличение количества кристаллов ромбододекаэдрических, с уменьшением числа октаэдров, а также повышенная роль округлых алмазов. Образование додекаэдрических поверхностей исследователи связывают с условиями растворения при повышенных температурах. Результаты экспериментов по искусственному получению алмаза [10] свидетельствуют о том, что габитус кристалла варьирует в зависимости от температуры. По мере повышения температуры появляются куб-октаэдр-додекаэдры, что позволяет предположить более высокое содержание крупных фенокристов оливина в порфиоровых кимберлитах. Последние во всех изученных трубках характеризуются более мощными келифитовыми каймами на гранатах ультраосновной ассоциации. Это свидетельствует о более длительной их реакции с кимберлитом

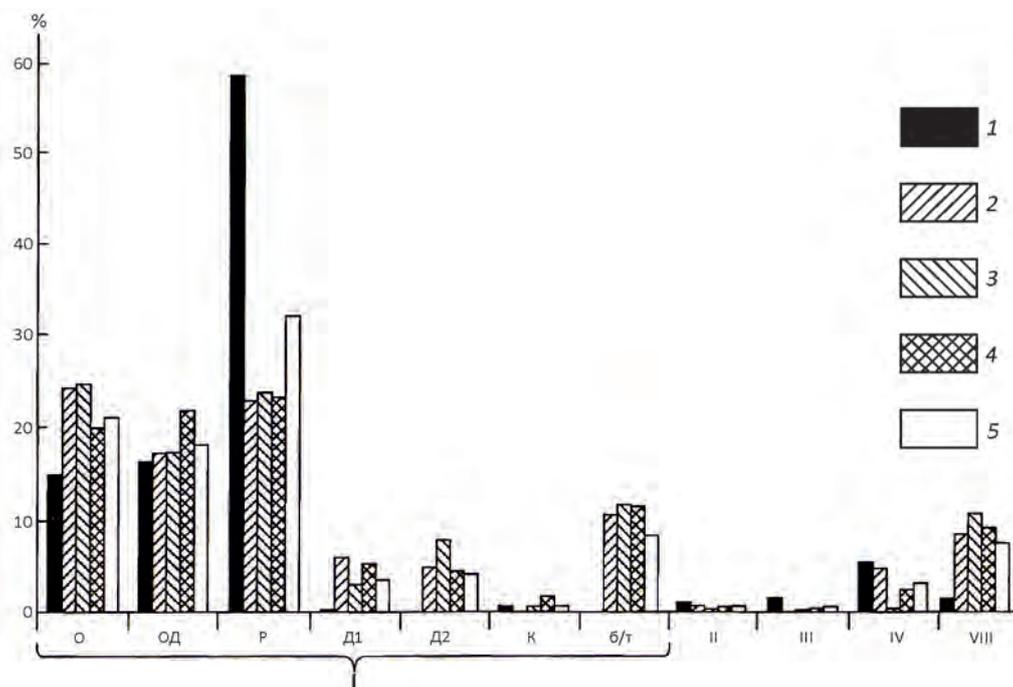


Рис. 3. Типоморфные особенности алмазов из кимберлитовых тел Алакит-Мархинского поля:

I–IV, VIII – разновидности алмазов по Ю.Л. Орлову (O – октаэдры, OD – переходные формы, P – ламинарные ромбододекаэдры, D1 – додекаэдры скрытослоистые, D2 – додекаэдры с шагренью, K – кубы, б/т – осколки); 1–4 – трубки: 1 – Айхал, 2 – Юбилейная, 3 – Сытыканская, 4 – Комсомольская; 5 – среднее по полю

вым 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. Однако такая закономерность характерна не для всех диатрем. Например, в трубке Дальняя (ДААР) более алмазоносными оказались порфиновые кимберлиты. Обнаружены также различия [9] в распространении кристаллов с разным типом их внутреннего строения в кимберлитах разных фаз внедрения Накынского поля (трубки Ботубинская 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 [5, 20] вопросы взаимосвязи химического состава кимберлитов и алмазоносности, которые базировались на результатах химического анализа более трех тысяч образцов кимберлитов различных структурно-петрографических разновидностей по всем изученным коренным месторождениям алмазов Якутии. 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 [5] гипотезу о наличии связи между химизмом кимберлитов разрабатываемых месторождений Сибирской платформы 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 порфиновые кимберлиты 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.

нирующих 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 [5] гипотезу о наличии связи между химизмом кимберлитов разрабатываемых месторождений Сибирской платформы 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 порфиновые кимберлиты 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.

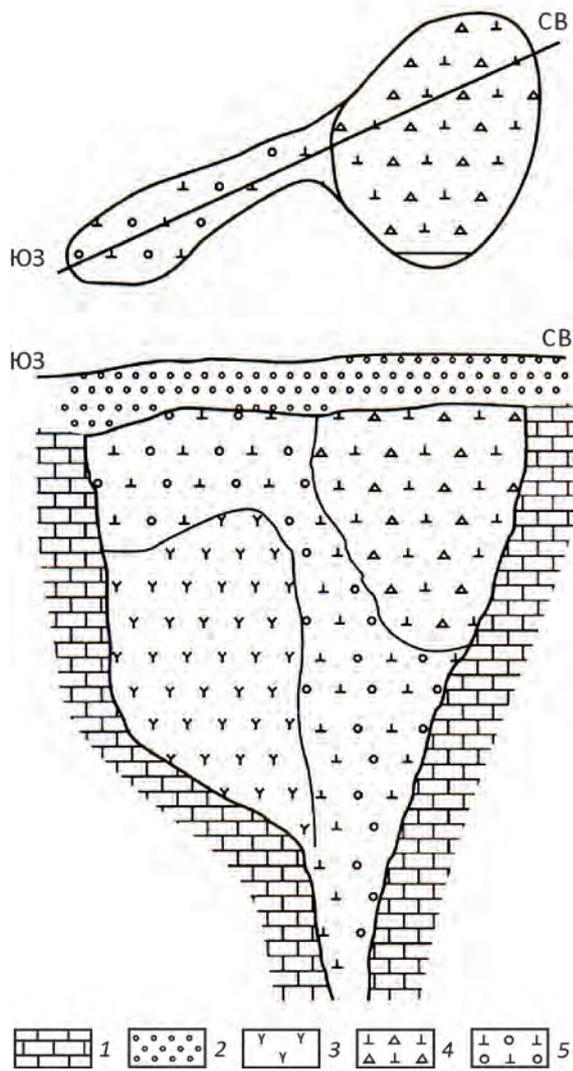


Рис. 4. Схематический план и разрез трубки Ботуобинская [10]:

1 – карбонатные и терригенно-карбонатные породы, PZ; 2 – терригенно-карбонатные породы, J; 3 – порфировые кимберлиты; 4 – кимберлитовые тuffобрекчии; 5 – автолитовые кимберлитовые брекчии

Таким образом, на основании изучения геологического строения трубок и жил, исследования алмазности кимберлитов, морфологии, гранулометрии и окраски алмазов проведена детализация модели пространственного размещения жильных тел и трубок отдельных алмазоносных районов СП. Типоморфными для промышленно алмазоносных кимберлитовых тел МБАР являются: резкое преобладание алмазов 1 разновидности, среди которых преобладают кристаллы октаэдрического габитуса, значительную часть из них составляют плоскогранные остросереберные октаэдры. Типичные округлые алмазы уральского (бразильского) типа здесь практически отсутствуют. Типоморфными

особенностями алмазов кимберлитов СМАР являются: преобладание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов 1 разновидности при сравнительно высоком количестве бесформенных осколков и практическом отсутствии типичных округлых алмазов. По комплексу типоморфных особенностей алмазы СМАР занимают промежуточное положение между кристаллами из эксплуатируемых месторождений МБАР и ДААР. С первыми их сближает высокое содержание октаэдров (в том числе плоскогранных остросереберных), низкое содержание лилово-коричневых камней и кристаллов с твердыми включениями, а также преобладающая розово-сиреневая фотOLUMИнесценция и высокое содержание примесного азота в форме А-центра. Высоким содержанием окрашенных алмазов с оболочкой IV разновидности кристаллы из месторождений СМАР напоминают алмазы трубок Айхал и Юбилейная (ДААР), но характеризуются спецификой окраски, толщины оболочки и скульптур травления, что позволяет выделить накынскую минералогическую ассоциацию алмазов, отличающуюся по своим типоморфным особенностям от эксплуатируемых месторождений Сибирской платформы. Алмазы из месторождений ДААР характеризуются комплексом типоморфных особенностей, специфичных для каждого из них. В целом для района характерны свойства кристаллов, позволяющие уверенно отличать их от алмазов для других алмазоносных районов. Установлено, что жильные тела, кимберлиты трубок Мир, Спутник, Юбилейная, Айхал, Ботуобинская и др. отличаются по алмазности, 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 алмазности, 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 *P-T* условий). Подводя итоги исследованиям по сопоставлению текстурно-структурных типов кимберлитовых пород сложнопостроенных трубок Сибирской платформы по алмазности, морфологическим и оптическим характеристикам алмазов, можно отметить существование различий в продуктивности разных фаз внедрения кимберлитов, что обусловлено разным уровнем заложения и длительности функционирования

образующих их магматических очагов, физико-химическими свойствами исходных составляющих, а также скоростью подъёма и характером продвижения кимберлитовой магмы в процессе разных этапов кимберлитового образования. 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 Сибирской платформы кембрийских отложений. Сравнительное исследование крупности, морфологии, оптических свойств кристаллов и алмазности пород диатрем подтверждает различие между выделенными разновидностями кимберлитовых брекчий различных фаз внедрения. На примере сложностроенных диатрем Юбилейная и Айхал показаны особенности распределения алмазов в различных частях диатрем с полным строением, подчеркиваемым наличием в верхних частях вулканогенно-осадочных пород, характеризующих слабый эрозионный срез диатрем. Это подтверждается также и слабой россыпной алмазностью перекрывающих диатремы осадочных толщ. В случае увеличения эрозионного среза верхних частей диатрем (трубки МБАР и СМАР) в близлежащих и перекрывающих осадочных толщах образуются многочисленные россыпи, в том числе имеющие промышленное значение. 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 кимберлитового образования, которые меняются во времени. Изложенные материалы позволяют предположить, что, чем большие объёмы трубок будут сложены ПК интрузивных фаз внедрения, тем ниже будет их алмазность. Это подтверждено результатами опробования многих диатрем на Сибирской платформе. 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 свойств, распределения породообразующих мине-

ралов, характер вторичной минерализации и насыщенности алмазами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск: Гео, 2010.
2. *Бартошинский З.В.* Сравнительная характеристика алмазов из различных алмазоносных районов Западной Якутии // Геология и геофизика. 1961. № 6. С. 40–50.
3. *Благулькина В.А.* Петрохимические типы кимберлитов Сибири // Советская геология. 1969. № 7. С. 60–70.
4. *Боткунов А.И.* Некоторые закономерности в распределении алмазов в трубке Мир // ЗВМО. 1983. Ч. 93. Вып. 4. С. 424–435.
5. *Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г.* Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. – Новосибирск: Наука, 1997.
6. *Занкович Н.С., Зинчук Н.Н.* Поиск закономерностей – один из аспектов прогноза продуктивности магматических фаз внедрения кимберлитов // Геология алмазов – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). – Воронеж: ВГУ, 2005. С. 785–790.
7. *Зинчук Н.Н.* Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков и отработки алмазных месторождений). – Новосибирск: НГУ, 1994.
8. *Зинчук Н.Н.* Постмагматические минералы кимберлитов. – М.: Недра, 2000.
9. *Зинчук Н.Н., Зуев В.М., Коптиль В.И.* Стратегия ведения и результаты алмазописковых работ // Горный вестник. 1997. № 3. С. 53–57.
10. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: Недра, 2003.
11. *Илупин И.П., Каминский Ф.В., Францессон Е.В.* Геохимия кимберлитов. – М.: Недра, 1978.
12. *Каминский Ф.В.* Закономерности размещения кимберлитовых (разнофациальных) и родственных им пород на Сибирской платформе // Докл. АН СССР. 1972. Т. 204. № 5. С. 1187–1190.
13. *Крючков А.И., Харькив А.Д., Похиленко Н.П.* Идентификация кимберлитовых тел, подвергнутых динамическому воздействию траппов (на примере системы тел в районе трубки Юбилейная, Якутия) // Геология и геофизика. 1994. № 3. С. 12–15.
14. *Малич Н.С., Масайтис В.Л., Сурков В.С.* Сибирская платформа. – Л.: Недра, 1987.
15. *Милашев В.А.* Кимберлиты и глубинная геология. – Л.: Недра, 1990.
16. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. – М.: Наука, 1984.
17. *Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии / А.П.Бобривич, И.П.Илупин, И.Т.Козлов и др.* – М.: Недра, 1964.
18. *Францессон Е.В.* Петрология кимберлитов. – М.: Недра, 1968.
19. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Геолого-генетические основы шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. – М.: Недра, 1995.
20. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов Мира. – М.: Недра, 1998.