

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИПОВЫХ МОДЕЛЕЙ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ПРИ ПОИСКАХ АЛМАЗОВ

Н. Н. Зинчук

Западно-Якутский научный центр Академии наук Республики Саха (Якутия), Мирный

Поступила в редакцию 21 февраля 2011 г.

Аннотация. Приведена характеристика составленных типовых моделей алмазоносных кимберлитовых трубок Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ. В кимберлитовых алмазоносных диатремах Сибирской платформы выделяются (снизу вверх): а) корневая часть – подводящий канал в виде дайкового тела; б) вулканический (вертикальный) канал; в) рас труб (воронкообразное расширение), венчающийся в неэродированных аппаратах кольцевым валом. Каждая из этих частей сложена породами, имеющими определенные вещественные и текстурно-структурные особенности. Существующие закономерности в смене пород создают своеобразную вертикальную зональность коренных месторождений алмазов. Кимберлитовые трубы на Восточно-Европейской платформе характеризуются многими специфическими свойствами, отличающими их от классических кимберлитов Сибирской и Африканской платформ. Среди отличий можно отметить обогащенность основной массы сапонитом, что связано с обогащенностью кварцем как вмещающих трубки пород, так и самих кимберлитов. Химический состав кимберлитов африканского региона может быть эталоном, поскольку от них получила название сама порода.

Ключевые слова: кимберлит, трубка, сапонит, кимберлитовая провинция, Сибирь, Восточно-Европейская платформа, Африканская платформа.

Abstract. The characteristics of the newly compiled type models of the diamondiferous pipes of the Siberian, Eastern-European, and African platforms are envisaged. In a cross-section of the kimberlite diamondiferous diatremes of the Siberian platform three parts differ as follows (downward): a) – root one (feeder as a dyke body), b – volcanic (sheer) channel; c – socket (crater-like expanding), crowned in non-eroded apparatuses by the ring entrenchment. Each of these parts are formed by the rocks with certain substantial and textural-structural affinities. Differed regularities in lithologic peculiarities change determine the conspicuous vertical zonation of the diamond rock deposits. The pipes of kimberlites within the Eastern-European platform are of many discrepancies, differing these ones from the classic kimberlites of the Siberian and African platforms. Among like discrepancies are the enrichment of groundmass with saponite that is explained with the correspondent enrichment of the frame rocks by quartz as well as kimberlites. Chemical composition of the African kimberlite may be a model one as it characterizes this lithotype itself.

Key words: kimberlite, pipe, saponite, province of kimberlites, Siberia, Eastern-European platform, African platform

Кимберлитовые трубы всех провинций мира характеризуются большим разнообразием по размерам, морфологии, глубине заложения очагов, внутреннему строению, особенностям заполняющих пород, содержанию и составу глубинных (первичных) минералов, а также основной массы кимберлитов, степени и характеру переработки последних постмагматическими растворами и в гипергенных условиях, содержанию, морфологии и физическим свойствам алмазов и другим признакам [2–6, 11–18, 21]. Некоторые перечисленные особенности кимберлитов обусловлены проявлением эндогенных факторов, а часть – экзогенных. От глубины формирования магматических очагов, состава глубинных включений и обломков

вмещающих трубы пород зависит содержание инертных компонентов (TiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 , FeO , P_2O_5 , а также частично K_2O и Na_2O), индикаторных минералов (в том числе и алмазов), состав и распределение в диатремах глубинных пород и некоторые другие параметры. Экзогенные факторы, включающие состав и механические свойства ксенолитов вмещающих пород, наличие и степень минерализации захоронённых вод, определяют масштабы и направленность вторичных изменений кимберлитов, содержание подвижных оксидов (SiO_2 , MgO , CaO и др.), количество и состав коровых ксенолитов, а также в некоторой мере морфологию и размеры кимберлитовых диатрем. Несмотря на то, что каждое кимберлитовое тело представляет собой индивидуальный практический не повторяющийся в природе объект, между

ними существует много общего, что позволяет для каждой из платформ создать обобщённую модель алмазоносной трубы. В модели алмазоносной трубы *Сибирской платформы* нашли отражение переход вертикального канала диатремы в подводящую дайку, особенности взаимоотношения кимберлитовых тел с траппами, а также характер сопряженности системы тел: главная трубка – сателлит – подводящая и дотрубочная дайки. При построении модели учтено тело кимберлитов (раздув кимберлитовой дайки), вскрытое карьером в разрезе кембрийских отложений около трубы Удачная, и пластовое тело (своеобразный «силл»), обнаруженное во вмещающих трубку Интернациональная отложениях [1, 19-21]. Уничтоженная эрозией верхняя часть большинства трубок Мало-Ботубинского и Средне-Мархинского районов (мощностью около 300 м) реконструирована на обобщающей модели за счёт сведений о слабо эродированных трубках Далдыно-Алакитского и других северных районов. На разведанную глубину трубок основных алмазоносных районов Сибирской платформы вмещающими породами являются терригенно-карбонатные образования нижнего силура, нижнего ордовика, кембрия, представленные известняками, доломитами, мергелями, алевролитами и их промежуточными разностями. В Мало-Ботубинском районе в ряде частей разреза развиты пласты и линзы каменной соли, а также прослои и линзы гипса и ангидрита. Большинство кимберлитовых тел в этом и Средне-Мархинском районе перекрыты нижнеюрскими осадочными толщами мощностью до 80 м. В Далдыно-Алакитском районе над частью кимберлитовых диатрем залегают терригенные образования верхнего палеозоя мощностью до 100 и более метров. Последние нередко интрудированы многочисленными пластовыми и секущими телами траппов, которые прорывают также породы нижнего палеозоя и даже перемещают от кимберлитовых трубок блоки отторженцев [20, 21].

В кимберлитовых диатремах Сибирской платформы выделяются (снизу вверх): а) корневая часть – подводящий канал в виде дайкового тела; б) вулканический (вертикальный) канал; в) раструб (воронкообразное расширение), венчающийся в неэродированных аппаратах кольцевым валом. Эти три элемента кимберлитовой постройки различны по морфологии, размеру и составу пород. Раструб обычно имеет воронкообразную форму, углы падения его контактов колеблются в широких пределах (50–75°) и в значительной

степени зависят от физико-механических свойств вмещающих трубы пород. Вертикальная протяжённость раструба также варьирует, обычно не превышая 300–350 м. Протяжённость вертикального канала в разных трубках неодинаковая, в среднем составляя несколько сотен метров и лишь в отдельных случаях (трубка Удачная, Мир и др.) достигает 1500–2000 м. Корневая часть (подводящий канал) всегда имеет форму даек мощностью от нескольких метров до нескольких десятков метров. Обычно, если трубы у поверхности в горизонтальных сечениях имеют заливообразные пережимы, то на глубине они распадаются на отдельные тела с самостоятельными подводящими каналами. Эти тела обычно соединены между собой узкими дайками или жилами, ярким примером которым может быть кимберлитовая трубка Айхал. Нам представляется [20–21], что так называемый «ксенолитовый пояс», закартированный в верхней части трубы Мир, – это шовная зона двух самостоятельных поступлений кимберлитового расплава, а находящаяся рядом с этой диатремой трубка Спутник при выходе на палеоповерхность соединялась с трубкой Мир. В целом же эти тела (учитывая срез верхних горизонтов трубок до 400 м в период после внедрения диатрем) формировали единую систему, похожую, например, на трубку Удачную.

Каждая из этих частей трубок сложена породами, имеющими определённые вещественные и текстурно-структурные особенности. Существующие закономерности в смене пород создают своеобразную вертикальную зональность коренных месторождений алмазов [7–10, 16]. Верхние горизонты некоторых хорошо сохранившихся раструбов трубок выполнены слоистой породой, очень напоминающей осадочные отложения и образующей чашеподобные структуры. Ярким примером такого образования является кимберлитовая трубка Юбилейная, в которой максимальная мощность переотложенных пород в центре «чаши» достигает до 200 м, существенно уменьшаясь к флангам. На данной диатреме породы «чаши» представляют собой чередование пелитоморфных образований с гравелито- и песчаникоподобными прослойями мощностью от нескольких миллиметров до первых десятков сантиметров. Среди переслаивающихся относительно отсортированных осадков встречаются отдельные линзы мощностью от первых до нескольких сантиметров несортированного материала кимберлитового состава, которые отдельными исследователями называ-

ются такситовыми кимберлитами. В основании разреза этой части растрюба располагается зона, сложенная крупными (иногда до десятка метров) ксенолитами вмещающих трубку осадочных пород. В отличие от этого, вулканический канал сложен эруптивными кимберлитовыми брекчиями и туффизитами, среди которых выделяются многочисленные структурно-петрографические типы и разновидности с широкими пределами колебания состава и размеров обломков вмещающих и глубинных пород, а также минералов. В свою очередь, породы подводящего канала представляют собой массивные (порфировые) кимберлиты. Порфировыми вкрапленниками в них являются оливин первой генерации, нередко подвергшийся замещению серпентином и карбонатом, реже флогопит и другие минералы. Основная масса кристаллически зернистая с широкими вариациями содержаний целого ряда минералов: оливина, флогопита, монтичеллита, реже первовскита, апатита и некоторых других минеральных выделений.

Плотность кимберлитов зависит от степени их выветрелости и глубины залегания в диатреме, а магнитная восприимчивость – от степени окисления железа, которая в верхних горизонтах всегда выше, чем на глубине. Наименьшей плотностью (2,20–2,30 г/см³) характеризуются кимберлиты верхних горизонтов практически всех трубок и в первую очередь – с развитой корой выветривания и сохранившимися образованиями кратерной фации. С глубиной плотность кимберлитов постепенно возрастает: на средних горизонтах она составляет 2,35–2,40 г/см³, а на глубине 1,0–1,3 км значения её уже 2,65–2,68 г/см³. Кимберлиты верхних горизонтов диатрем обладают большей магнитной восприимчивостью, чем глубоких частей. Отдельным трубкам (Мир, Интернациональная и др.) свойственна низкая магнитная восприимчивость на всю разведенную глубину, а в некоторых случаях (трубы Накынского кимберлитового поля) кимберлиты вообще не магнитны.

Ксеногенный материал в диатремах описываемой платформы делится на: а) осадочные породы платформенного чехла; б) изверженные – траппы, внедрившиеся в осадочный чехол до образования диатрем; в) метаморфические, слагающие фундамент платформы; г) глубинные, предположительно мантийного происхождения. Наибольшим распространением пользуются ксенолиты осадочных пород, содержание которых варьирует в широких пределах: от единичных обломков до 90 % объёма

породы (так называемые карбонатные брекчии). В верхних частях многих диатрем в повышенных количествах (например в отдельных участках трубы Спутник до 40%) содержатся зёरна кварца, плагиоклаза, микроклина и других терригенных минералов. В изучаемых кимберлитах присутствует повышенное количество тонкозернистого карбонатного материала с переменной примесью глинистого вещества. В целом нами [21] отмечено относительно высокая концентрация терригенной примеси в кимберлитовых трубках примерно на тех уровнях, где и вмещающие породы обогащены этим материалом. Выявлена также тенденция возрастания содержания трапповых ксенолитов на уровнях, отвечающих залеганию трапповых силлов, например, для Мирнинского кимберлитового поля это глубины 500–550 и более 1000 м. Количество ксенолитов пород фундамента платформы в целом увеличивается с глубиной. В горизонтальных сечениях кимберлитовых трубок они располагаются хаотично. Отмечена общая закономерность, когда с увеличением содержания осадочных ксенолитов снижается количество ксенолитов метаморфических пород. Проследивая характер распределения содержания и состава ксенолитов глубинных пород до глубины 1,2–1,4 км в трубках Мир и Удачная удалось выявить, что концентрация глубинных ксенолитов возрастает в кимберлитах более поздних фаз внедрения. Что же касается нодулей пород верхней мантии, то в одних трубках (Мир) оно возрастает с глубиной, в других (Удачная) – убывает.

Все кимберлитовые трубы в переменном количестве содержат индикаторные минералы – алмаз, пироп, пикроильменит, хромшпинелиды, оливин и др. Содержание индикаторных минералов в самых верхних частях диатрем, сложенных вулканогенно-осадочными образованиями, в целом низкое (особенно в тонкозернистых фациях стратифицированных пород). Здесь зёрна этих минералов имеют небольшие размеры и угловато-неправильную форму. Пироп в таких частях трубок обычно лишён келифитовых кайм (иногда отмечаются небольшие их фрагменты), в то время как в нижележащих породах присутствуют обрывки кайм без граната. Реакционные оболочки на пикроильмените сохраняются чаще, чем на пиропе, но и они фрагментарно покрывают поверхность зерен. Содержание индикаторных минералов кимберлитов на глубоких горизонтах выше, чем в самых верхних частях, хотя в разных трубках Сибирской платформы оно различно: от знакового

до первых процентов. Количество глубинных минералов на средних горизонтах диатрем обычно повышенено, зёрна минералов значительно крупнее, чем на более высоких и низких уровнях диатрем. В подводящем дайкоподобном канале отмечается некоторое снижение индикаторных минералов. Целых зёрен первичных минералов здесь значительно больше, чем в верхних частях диатрем.

По содержанию главных индикаторных минералов (пиропа, пикроильменита и хромшпинелида) как алмазоносные, так и неалмазоносные высокоспутниковые кимберлиты делятся на две группы: а) с высоким содержанием пикроильменита и пиропа, низким – хромшпинелидом; б) с низким содержанием пикроильменита и повышенным пиропа и хромшпинелида. Промышленные коренные месторождения алмазов Сибирской платформы в основном принадлежат к высокоспутниковому типу и приурочены к центральной части региона. Алмазоносные высокоспутниковые кимберлиты первой группы присутствуют на Сибирской платформе в Мирнинском (Мир, Дачная), Алакит-Мархинском (Сытыканская, Комсомольская) и Далдынском (Удачная, Дальняя, Зарница) полях. Алмазы этих месторождений изменяются по морфологии от гладкогранных октаэдров (трубка Мир) до комбинационных кристаллов (Удачная, Сытыканская). В трубке Удачная среди мелких алмазов нередко встречаются кубы, источником которых, по-видимому, являются дезинтегрированные эклогиты. *Пикроильменит* в высокоспутниковых кимберлитах первой группы преобладает над пиропом. Размер зерен минерала варьирует от долей до первого десятка миллиметров, довольно часто встречаются выделения размером 5–10 мм в поперечнике. Состав пикроильменита меняется в различных трубках. Так, в Мирнинском кимберлитовом поле отмечается повышенное количество ферримагнитной разновидности этого минерала со специфическим составом: низким содержанием TiO_2 и MgO и повышенным Fe_2O_3 и Cr_2O_3 . Следует при этом отметить, что в отдельных трубках (Удачная, Сытыканская, Дальняя, Зарница и др.) ферримагнитный ильменит вообще не встречен, зато в повышенных концентрациях в таких диатренах отмечено содержание Cr_2O_3 . Концентрация *пиропа* в алмазоносных кимберлитах первой группы также повышена, причём нередко определяющая часть зерен принадлежит к высокохромистой и низкокальциевой разновидности – алмазной ассоциации [19–21]. Особенno характерно относительно повышенное содержание пиропов алмаз-

ной ассоциации для алмазоносных кимберлитов первой группы Далдынско-Алакитского района, в то время как для аналогичных пород Мало-Ботуобинского района оно в целом невелико (до 5 %). Значительное количество пиропа алмазоносных кимберлитов трубок Мало-Ботуобинского района принадлежит к низкохромистой разности оранжевого цвета, находящейся обычно в парагенезисе с пикроильменитом. Для пиропа высокоспутниковых кимберлитов первой группы Сибирской платформы характерна в целом максимальная степень дифференциации по парагенезисам. В совокупность этого минерала входят пиропы лерцолитового, вебстеритового, верлитового и дунит-гарцбургитового парагенезисов. Содержание пиропа верлитового парагенезиса в этих породах повышенено по сравнению с алмазоносными кимберлитами других регионов, причём среди них встречаются как высокохромистые (находящиеся в ассоциации с хромшпинелидом), так и с пониженным содержанием хрома (ассоциация с пикроильменитом). *Хромшпинелид* в высокоспутниковых кимберлитах первой группы присутствует обычно в малых количествах (сотые доли процента). Он образует хорошо индивидуализированные зерна, многие из которых имеют форму октаэдров, нередко осложнённую вицинальными гранями [21]. Многие зерна этого минерала принадлежат к высокохромистой разности, а среди последних довольно часто встречаются индивиды алмазной ассоциации.

Высокоспутниковые алмазоносные кимберлиты второй группы (с низким содержанием пикроильменита) распространены более широко, чем первой. В Мало-Ботуобинском районе к ним относятся трубки Интернациональная, Спутник, имени XXIII съезда КПСС, в Далдынско-Алакитском – Юбилейная и Айхал, в Верхнемунском – Заполярная, Поисковая, Новинка, Комсомольская-Магнитная. Все они характеризуются пониженным содержанием (вплоть до полного исчезновения) пикроильменита и повышенным – пиропа и хромшпинелида. Размеры зерен пикроильменита и хромшпинелида редко превышают 2 мм.

Высокоспутниковые слабоалмазоносные кимберлиты относительно широко распространены в центральных частях алмазоносных провинций и делятся на две группы: с высокими и низкими концентрациями пикроильменита. Первые в Мирнинском поле представлены трубкой Амакинская и дайкой А-21, в Далдынском – трубками Ленинградская, Геофизическая, Долгожданная, Украин-

ская, Иксовая и др., в Алакит-Мархинском – Моркока, Искорка и др. Кимберлиты этой группы выявлены также в Средне- и Нижнеоленекском районах [19–21]. Алмазы в кимберлитах данной группы встречаются относительно редко и представлены они в основном ромбододекаэдрами и ромбододекаэдроидами. Главным индикаторным минералом этой группы является пикроильменит по составу не отличающийся от такого из алмазоносных трубок. Состав пиропа слабоалмазоносных кимберлитов существенно отличается от такого промышленно алмазоносных трубок, что выражается в пониженной средней хромистости и отсутствии алмазоносной ассоциации в первом. Характерна для последних и слабая дифференциация по парагенезисам – преобладают зерна пиропа вебстеритового и лерцолитового парагенезисов. Не характерны им также зерна минерала верлитового парагенезиса. Гранаты из слабоалмазоносных кимберлитов центральной части провинции более разнообразны по составу, чем аналогичные разности северной части платформы. Хромшпинелид в неалмазоносных кимберлитах первой группы встречается редко и в основном это алюмохромит.

Высокоспутниковые слабоалмазоносные кимберлиты с низким содержанием пикроильменита (вторая группа) по составу и другим признакам индикаторных минералов практически не отличаются от слабоалмазоносных кимберлитов первой группы. Наряду с низким содержанием пикроильменита им свойственен и малый размер его зерен, не превышающий первых миллиметров. К неалмазоносным высокоспутниковым магматитам второй группы можно отнести [21] также лампрофиры Чомполинского поля на западном склоне Алданского щита, пикриты Чадобецкого поднятия и мелилиты Среднего Тимана. Для них характерен слабохромистый пироп и слабая дифференциация этого минерала по парагенезисам (в основном вебстеритовый и лерцолитовый). Хромшпинелид представляет собой алюмохромит с явно выраженным ультрабазитовым трендом состава.

В кимберлитовых трубках Сибирской платформы диагностировано более 60 вторичных минералов, что существенно влияет на петрофизические и петрохимические свойства пород. В условиях Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) в кратерных осадках всегда отмечается высокое содержание карбонатного материала. Однако в вулканогенно-осадочных породах обычно отсутствуют выделения вторичных минералов

в виде крупных жил, жеод и гнёзд. Кимберлитовые туфы также характеризуются повышенным содержанием карбонатных минералов. В туфах и брекчиях верхних горизонтов встречаются скопления крупных друз и прожилков кварца (часто аметистовидного), кальцита и магнетита. С глубиной масштабы данного типа минерализации постепенно уменьшаются и в эруптивной брекчии более глубоких горизонтов сохраняются лишь маломощные жилы и прожилки пневматолитово-гидротермальных минералов. С глубиной обычно уменьшается степень карбонатизации пород. В отдельных случаях (например, глубокие горизонты восточного тела трубки Удачная) в диатремах встречаются практически не серпентинизированные «свежие» кимберлиты с высоким содержанием карбонатных минералов. К верхним частям кимберлитовых трубок увеличивается количество хлорита, образующегося за счёт изменения флогопита, а в породах подвергшихся гипергенным изменениям появляется монтмориллонит, ассоциирующий с монтмориллонит-гидрослюдистой смешанослойной фазой. Отдельные горизонты кимберлитов обогащены такими редкими минералами как пироаурит и амакинит, а в зонах распространения во вмещающих породах обогащённых рассолами соленосных толщ встречается и галита, а также такие редкие минералы бора как екатеринит и ферросайбелиит [8, 9]. Большое влияние на особенности вторичной минерализации и её распределение по разрезу оказывают вмещающие трубки породы. Несмотря на локализацию всех кимберлитовых полей Сибирской платформы в пределах распространения терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, состав последних всё же существенно изменяется как по вертикали, так и горизонтали, существенно влияя на состав самих кимберлитов.

Существенно меняются по разрезу кимберлитовых трубок петрохимические и геохимические особенности пород. Так, осадочно-вулканогенные образования верхних частей диатрем имеют высокие содержания CaO и CO_2 за счёт значительного объёма обломков вмещающих карбонатных пород, а также пониженное количество TiO_2 , K_2O , P_2O_5 и ΣFe . В основании растрата трубки и её вертикальном канале, где преимущественно распространены эруптивные брекчии и массивные (порфировые) кимберлиты, постепенно снижается содержание карбонатных компонентов. За счёт уменьшения количества CaO и CO_2 на средних уровнях диатрем возрастают содержания ряда

других компонентов – SiO_2 , MgO и H_2O . Содержание K_2O , P_2O_5 и TiO_2 остаются примерно одинаковыми по всему разрезу диатрем или изменяются не столько существенно, по сравнению с основными породообразующими оксидами. В большинстве изученных нами кимберлитовых трубок несколько увеличивается содержание K_2O на глубине, что обусловлено снижением степени хлоритизации флогопита на этих горизонтах. С воздействием на кимберлит вмещающей среды связано возрастание с глубиной содержания Na_2O , Cl и SO_3 в тех трубках, где вмещающими породами на глубоких горизонтах являются галогенные и гипсоносные толщи. Роль Fe_2O_3 на глубоких горизонтах некоторых трубок (Мир, Сытыканская, Юбилейная и др.) повышается за счёт развития пироаурита или превращения амакинита в гидроксиды железа. В некоторых трубках (Интернациональная и др.) с глубиной снижается количество SiO_2 и Al_2O_3 и возрастает MgO и H_2O^+ , что обусловлено уменьшением в кимберлитах терригенной примеси вмещающих пород.

Алмазоносность самых верхних частей (где они сохранились), выполненных вулканогенно-осадочными породами, всегда в 2-3 раза (а иногда и более) ниже, чем более глубоких горизонтов. В залегающих ниже породах растрюба, представленных кимберлитовыми туфами и эруптивными кимберлитовыми брекчиями, содержание алмазов повышено, хотя также в значительной степени зависит от содержания ксеногенного материала. Обычно понижены содержания алмазов в приконтактовых частях диатрем. Признаки окисления алмазов в дайках и некоторых трубках (где проявляются следы высокотемпературных условий формирования кимберлитов) фиксируются в виде своеобразных каверн [1]. Неоднородности распределения алмазов в горизонтальных сечениях трубок проявляются более контрастно, чем в вертикальном разрезе. Разные фазы внедрения имеют различную алмазоносность. Зафиксирован [20, 21] факт повышенной алмазоносности кимберлитов более поздних фаз внедрения, которые обычно приурочены к центральным частям трубок. Отмечается пониженное содержание алмазов в периферических зонах трубок, что связано с разубоживанием кимберлита различным объёмом материала вмещающих пород.

Кимберлитовые трубы на *Восточно-Европейской платформе*, открытые в пределах Архангельской алмазоносной провинции (ААП), характеризуются многими специфическими свойс-

твами, отличающими их от классических кимберлитов Сибирской и Африканской платформ [7, 21]. Для кимберлитов этой платформы характерна пониженная плотность (особенно кратерных фаций), которая варьирует от 1,90 до 2,5 г/см³, снижаясь в кратере (1,68–1,95 г/см³) и увеличиваясь (до 2,02–2,32 г/см³) с глубиной. Магнитная восприимчивость кимберлитов также понижена, особенно для пород тех трубок, у которых сохранились кратерные фации. Из-за незначительного различия магнитной восприимчивости вмещающих пород и кимберлитов последние не выделяются контрастными аномалиями, что затрудняет их поиски магнитометрическим методом. Вмещающими породами этих трубок являются монотонно чередующиеся слабо сцементированные аргиллиты, алевролиты и песчаники, основными составными частями которых являются кварц, полевые шпаты, гидрослюдя, хлорит и каолинит. Характерная особенность этих пород – слабая цементация. В породах содержится незначительной, по сравнению с аналогичными образованиями Сибирской платформы, содержание карбонатного вещества и высокое количество кварца. Для вмещающих трубы пород характерно наличие большого количества захороненных слабоминерализованных вод. Ряд кимберлитовых диатрем перекрыт как четвертичными образованиями, так и породами среднего карбона (урзугская свита).

Подавляющее большинство кимберлитовых трубок ААП имеет изометричную, близкую к окружной форме (некоторые вытянуты в северо-восточном направлении), что вызвано рыхлым (до 1 км) характером среды, в которую внедрялась кимберлитовая магма. В вертикальном разрезе кимберлитовых трубок этого региона, как и на других платформах, выделяются растрюб (кратер) и вертикальный канал, а корневая зона в описываемых трубках фактически не вскрыта. В большинстве промышленных алмазоносных трубок отмечается четко выраженная кратерная зона, представляющая собой расширение с относительно пологими контактами, которые на глубине 150–300 м от современной поверхности становятся почти вертикальными. До разведенной глубины (около 1 км) все открытые промышленно алмазоносные трубы региона имеют цилиндрическую, почти округлую форму. Наличие в районе большого количества силлоподобных тел и силлов, отходящих от трубок, связано, по нашему мнению [20, 21], со слабой литифицированностью вмещающих трубы пород.

Текстурно-структурные особенности и петрографический состав пород, заполняющих различные морфологические отрезки диатремовой структуры, существенно меняются. Так, на самых верхних горизонтах слабо эродированных трубок в пределах кратера развита толща вулканогенно-осадочных пород озерного типа, образованных переотложенным материалом дезинтегрированных продуктов закратерных выбросов и пород бортов трубок. Они имеют слоистое строение, образующееся чередующимися прослойками пелитоморфного и песчанистого облика, сложенные в основном кварцем, полевыми шпатами и гидрослюдой. Кимберлитовая составляющая представлена сапонизированными обломками псевдоморфоз по оливину. Количество терригенного материала варьирует от 20 до 99 %. Отдельные разности пород кратера литологически сходны с вмещающими трубки породами и обычно обладают близкими с ними петрофизическими свойствами. Они нередко камуфлируют трубочные объекты, создавая этим самым определённые трудности при их поисках. Мощность субгоризонтально залегающей вулканогенно-осадочной пачки 30–40 м. Залегает последняя на туфогенной толще, включающей туфы, туффиты и туфопесчаники общей мощностью 20–40 м. Цвет перечисленных пород фиолетово- или сиренево-коричневый. Для пород характерна пятнистость, обусловленная наличием в породе кремового цвета сапонитовых псевдоморфоз по оливину. В составе кратерных образований кимберлитовых трубок ААП относительно редко встречаются крупные обломки и глыбы вмещающих пород, что типично для аналогичных пород Сибирской и Африканской платформ.

Породы жерла представлены вулканическими образованиями: ксенотуфобрекчиями, автолитовыми брекчиями и порфировыми кимберлитами. Пространственное соотношение этих основных типов пород подчиняется определенным закономерностям и обусловлено в основном последовательностью их формирования. Наиболее ранними образованиями являются ксенотуфобрекчии, залегающие в периферийных и ранних частях диатрем, автолитовые брекчии, внедрившиеся в следующий этап становления диатрем, слагают «рудные столбы» в центральных частях трубок. С ксенотуфобрекчиями они связаны постепенными переходами посредством туфобрекчий. На глубоких горизонтах некоторых трубок вскрыт порфировый кимберлит – порода эфузивного облика, содержащая псевдоморфозы сапонита и серпен-

тина по оливину и флогопит. Основная масса породы сильно изменена вторичными постмагматическими процессами.

Ксенолиты в кимберлитовых трубках представлены: а) осадочными породами; б) кристаллическими сланцами фундамента; в) нодулями пород верхней мантии. Наиболее распространёнными являются осадочные ксенолиты и ксенозерна минералов дезинтегрированных пород венда, играющие большую роль в составе кратерных пород и немного меньшую, но нередко существенную во всех других типах и разновидностях кимберлитовой брекчии. Отличительными особенностями пород кратерной фации трубок ААП является присутствие большого количества зерен кварца, в то время как обломки кварцодержащих пород (алевролитов и песчаников) находятся в подчинённом количестве. Велика роль терригенного материала и в составе ксенотуфобрекчий и автолитовых брекчий. С глубиной содержание материала осадочных пород постепенно снижается. Обломки пород фундамента (кристаллические сланцы и гнейсы) встречаются относительно редко (особенно в породах кратерных фаций) и размеры их редко превышают первый десяток сантиметров. Аналогичные особенности характерны и для ксенолитов пород верхней мантии, находки которых приурочены к автолитовым брекчиям и представлены они в основном существенно оливиновыми породами. В отличии от кимберлитовых трубок Сибирской и Африканской платформ в трубках ААП не обнаружены ксенолиты верлитов и катахлазированных перидотитов.

По морфологии и физическим свойствам среди алмазов из кимберлитовых пород Восточно-Европейской платформы выделяются кристаллы размером крупнее 2 мм, представленные в основном додекаэдроидами (округлый тип) и меньше 1 мм, имеющие форму плоскогранных октаэдров с тригональной и дитригональной формой граней. Широко распространены бесцветные кристаллы, но встречаются и окрашенные в зеленовато-желтый и жёлтый цвета. Продуктивные кимберлиты ААП принадлежат к низкоспутниковому типу. Минимальные концентрации индикаторных минералов установлены в кратерных породах, несколько повышенено их количество в автолитовых брекчиях. Содержание пиропа в кимберлита ААП обычно не превышает первых граммов на 1 т породы и доминируют зёрна размером менее 1 мм округлой или овальной формы, часто окруженные изменённой келифитовой каймой. Для пиропов из алмазо-

носных кимберлитов этой провинции характерно: преобладание высокохромистых разностей; мало гранатов эклогитового и верлитового парагенезисов, а также повышенное дунит-гарцбургитового парагенезиса и алмазной ассоциации; несколько пониженная кальциевость граната. Среди редко встречающихся хромшпинелидов преобладают высокохромистые и высокотитанистые зерен, а в алмазоносных трубках отмечено повышенное количество зёрен алмазной ассоциации. Типичным для рассматриваемых кимберлитов является хромшпинелид, хотя и его концентрации низкие. Отмечено существенное отличие низкоспутниковых неалмазоносных (или слабоалмазоносных) магматитов от аналогичных пород алмазоносных диатрем по составу индикаторных минералов.

Вторичные изменения кимберлитов этой платформы интенсивны и принципиально отличаются от изменений в Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Ведущим вторичным минералом (иногда до 50 %) здесь является сапонит, что связано с обогащённостью кварцем как вмещающих пород, так и самих кимберлитов. Особенно много сапонита отмечается в верхних горизонтах трубок, где увеличено количество терригенного материала. Под воздействием постмагматических растворов сапонитизация подвергаются не только изменённые зерна оливина, а даже и выделения кварца и полевых шпатов вмещающих пород. В составе автолитовых брекчий кроме сапонита существует повышенное количество талька и появляется серпентин. С глубиной количество последнего возрастает, однако сапонит (а на отдельных участках и тальк) являются преобладающими фазами. Карбонатные минералы, характерные для кимберлитов Сибирской платформы, для алмазоносных пород Восточно-Европейской платформы не характерны. Слабо развита здесь и однородная гидротермальная минерализация. Несмотря на высокое содержание в породе изменённого терригенного кварца, друзы и прожилки этого минерала в кимберлитовых трубках ААП редки. Наблюдаются здесь прожилки барита, сепиолита, серпентина, кальцита, магнетита и гидроксидов железа.

Главной петрохимической особенностью продуктивных кимберлитов ААП является высокое содержание SiO_2 , Al_2O_3 и низкое K_2O , TiO_2 , FeO , MgO , CaO , P_2O_5 , что связано с обогащённостью пород материалом вмещающих толщ. По петрохимической природе они принадлежат к ультраосновным кимберлитам. Однако при этом следует учитывать, что источником значительной части

SiO_2 , Al_2O_3 и K_2O в этих породах служит терригенная примесь вмещающих образований венда, захваченная при внедрении кимберлитового расплава. Особенно высокие содержания кремнезёма (до 95 %) отмечены в самых верхних осадочных слоях кратерной фации, что связано с обогащённостью этих частей терригенным материалом. С глубиной содержание этих компонентов уменьшается и увеличивается роль MgO . Однако и на глубоких горизонтах в автолитовых брекчиях и порфировых кимберлитах отмечена повышенная роль SiO_2 , что связано с сапонитизацией этих пород. В геохимическом отношении кимберлиты ААП отличаются от аналогичных пород большинства платформ мира низким содержанием некогерентных элементов (Ti, P, Rb, Sr, Zr и др.). Особенно мало перечисленных элементов в кратерных фациях описываемых пород.

Наиболее низкая алмазоносность установлена для самых верхних кратерных образований, основной частью которых является дезинтегрированный материал вмещающих пород венда. По мере снижения доли терригенной примеси возрастает количество алмазов, достигая максимума в автолитовых брекчиях, которые приурочены к центральных участкам трубок, сменяясь к периферии ксенотуфобрекчий. Поэтому в горизонтальных сечениях максимальные содержания алмазов тяготеют к центральным зонам кимберлитовых диатрем. Закономерных изменений морфологии и физических свойств алмазов в кимберлитовых трубках Восточно-Европейской платформы не отмечено, за исключением того, что в кратерных фациях размер алмазов минимальный, а количество обломков кристаллов, наоборот, максимально.

Большинство кимберлитовых трубок **Африканской платформы** выходят на дневную поверхность [6, 21]. Самая верхняя часть растрюба трубок нередко по форме приближается к шляпе гриба, края которой переходят в кольцевой вал, сформированный выбросами собственно эндогенного материала и пород, прорванных кимберлитовой колонной. Кольцевой вал обычно эродирован и его реликты сохранились только в единичных трубках в Танзании (Мвадуи), Мали (Касаме) и Зaire (массивы А и V). Переход между кратерной частью и вертикальным каналом в отдельных диатремах постепенный, в других – относительно резкий. Корневые зоны кимберлитовых трубок характеризуются изменчивостью морфологии, расширениями и сужениями тела, резкими изменениями наклона и простиранием контактов,

неровностями последних, расщеплением подводящих тел на отдельные дайкоподобные проводники, появлением на глубине «слепых» приатков кимберлитов. Ориентировка подводящих каналов и частично их форма определяются трещиноватостью жёсткой рамы, откалыванием от неё отдельных угловатых блоков. На территории Африканского континента морфология кимберлитовых тел разнообразна: широко распространены трубчатые тела, в некоторых районах (Лесото, Сьерра-Леоне, Гвинея) доминируют дайки, но часто встречаются и силлы. В Гвинее нами изучен блок гранитоидов и кристаллических сланцев, пронизанный многочисленными прожилками кимберлитов мощностью от долей миллиметра до первых десятков сантиметров, так называемый шокверковый тип залегания кимберлитов. Трубчатые тела здесь обычно приурочены к участкам пересечения различно ориентированных разломов. В Гвинее и Сьерра-Леоне кимберлиты, локализованные в пределах жёсткого основания, разбитого зонами трещин определённой ориентации, залегают в виде систем даек протяжённостью десятки километров. Аналогичная картина наблюдалась нами в тех районах Лесото, где кимберлиты прорывают лавовую толщу базальтов Кару с предварительно сформированной системой трещин. Сотни дайковых тел заполняют ориентированную в основном в северо-восточном направлении систему трещин. Кимберлитовые силлы формировались в связи с существенной неоднородностью (различной механической прочности) вертикального разреза интруцированных кимберлитами пород, которые кимберлитовая магма при внедрении встречала на своём пути трудно преодолимые барьеры, что приводило к смене направления её движения от вертикального до горизонтального.

Подавляющее большинство кимберлитовых тел на Африканском континенте выходили на дневную поверхность, где они залегают под относительно маломощным делювием, чаще всего представленным выветрелыми глинистыми образованиями (кора выветривания). Некоторые трубы перекрыты песками Калахари, мощность которых достигает первых десятков метров. Лишь трубка Джваненг (Ботсвана) перекрыта, кроме слоя песков Калахари (20–30 м), ещё и мезозойскими отложениями мощностью в первые десятков метров. Пока не зафиксирован факт, чтобы известные алмазоносные тела Африканской платформы были погребены под магматическими породами. Такая геологическая обстановка благоприятствует

поискам кимберлитов геологическими (шлихоминералогическим) и геофизическими методами. Вмещающими породами кимберлитов Африки служит широкий комплекс осадочных и изверженных пород, которые влияют на морфологию тел, характер вторичных изменений и химический состав пород. Верхние горизонты кратерных фаций слабо эродированных трубок континента сложены толщей пород озёрного типа. Вертикальный канал выполнен туффизитовой брекчиею, сложенной эндогенным материалом: лапиллями кимберлитов, зернами оливина и других реликтовых минералов, погруженных в мелкозернистую матрицу. Характерной особенностью корневых зон африканских кимберлитовых трубок является наличие четко выраженных участков, сложенных контактовыми брекчиями. Установлены три основных типа брекчий, различающиеся между собой по составу, строению и генезису: эксплозивные, флюидные и интрузивные. Гипабиссальные кимберлиты корневых зон обычно формировались в результате внедрения нескольких самостоятельных интрузий и множества мелких даек. Контакты между разными интрузиями корневых зон обычно постепенные, через так называемую зону смешения, иногда они резкие, имеют вид сварного шва. Кимберлиты различных интрузий корневых зон отличаются между собой по минералого-петрографическим особенностям, которые однако свидетельствуют, что они являются производными «нормальной» кимберлитовой магмы. Это магматические породы порфировой структуры, сложенные ксенозернами мантийных минералов (пиропа, пикроильменита, оливина и др.), порфировыми вкрапленниками оливина основной массой полиминерального состава. В некоторых разновидностях гипабиссальных кимберлитов в основной массе отмечается повышенное количество первовскита, апатита, мельчайших зерен хромшпинелида, пикроильменита и некоторых других минералов.

Ксеногенный материал представлен следующими породами: а) осадочными; б) изверженными; в) кристаллическими; г) нодулями образований верхней мантии. Среди ксенолитов пород верхних этажей коры (осадочных, изверженных и метасоматических) африканские исследователи различают несколько групп обломков: а) полностью уничтоженных эрозией в районах конкретной трубы; б) выходящих на дневную поверхность или вскрытых горными выработками в разрезе пород, прорванных кимберлитами; в) залегающих

на большой глубине и не вскрытых к настоящему времени по техническим и другим причинам. В слабо эродированных кимберлитовых трубках Африканского региона (трубки Танзании, Ботсваны и др.), как и на других платформах мира, в пределах кратера скапливаются огромные массы дезинтегрированного материала тех пород, в которых залегает кратерная часть диатрем. Обломки пород и минералов вмещающих трубы образований вместе с примесью эндогенного (кимберлитового) материала в верхней части разреза кратеров стратифицированы. Слоистость иногда охватывает и более глубокие слои кратерных образований. В пределах вертикального канала содержание дезинтегрированного материала вмещающих пород варьируют от единичных обломков до многих десятков процентов. В отдельных трубках содержатся гигантские ксенолиты («плавающие рифы»), имеющие иногда весьма значительный объём. Корневые зоны диатрем сложены двумя типами образований, различающихся по содержанию ксенолитов вмещающих пород: а) гипабиссальными кимберлитами с низким содержанием ксенолитов; б) несколькими генетическими типами брекчий, в которых указанные ксенолиты занимают основной объём. Для африканских кимберлитовых трубок характерно повышенное содержание нодулей глубинных пород, для которых характерна слабая изменённость вторичными процессами.

Большинство трубок Африканского континента высокоспутниковые. Низкое содержание минералов-спутников алмаза отмечено для группы трубок Венеция, расположенной в пределах подвижного пояса Лимпопо на границе ЮАР с Зимбабве [21]. Кроме пиропа и пикроильменита в концентрате из кимберлитов Африканской платформы отмечается повышенное количество клинопироксена – обычного диопсида и низкохромистого хромдиопсида. От пиропа из кимберлитов ЯАП и ААП минерал из трубок Африканской платформы отличается более низким содержанием Cr_2O_3 , а также меньшей дифференцированностью по парагенезисам, преобладании относительно низкохромистых разностей лерцолитового и вебстеритового парагенезиса и малой ролью этого минерала дунит- гарцбургитового парагенезиса и алмазной ассоциации. Пикроильменит присутствует практически во всех кимберлитовых диатремах африканского континента, причём для относительно крупных выделений отмечен необычный марганцевистый состав зерен. Хромшпинелид в большинстве случаев принадлежит к алмазной ассо-

циации. Во многих коренных месторождениях алмазов платформы преобладают кристаллы алмаза с включениями эклогитового парагенезиса.

Для кимберлитовых пород Африканской платформы в целом характерна слабая изменённость постмагматическими процессами, что во многом связано с отсутствием захороненных водоносных горизонтов в вмещающих трубы толщах, а также литифицированные осадочные отложения и образования изверженных пород в образованиях рамы. Верхние горизонты кимберлитовых тел с развитой корой выветривания сложены реликтами первичных (глубинных) минералов, заключенных в монтмориллоните, нонtronите, каолините и гидрослюде. Вторичные минералы более глубоких горизонтов представлены серпентином и хлоритом, а в более рыхлых породах и сапонитом, вермикулитом и бруситом. Выявлены здесь повышенные количества цеолитов, а также характерно малое присутствие жильных выделений кварца и кальцита, что сильно отличает их от изменённых кимберлитов Сибирской платформы.

Химический состав кимберлитов региона может служить эталоном, поскольку от них получила названия сама порода [6, 21]. Эти породы южноафриканскими геологами разделяются на две группы, различающиеся между собой по химическому (содержанию K_2O , TiO_2 и P_2O_5) и изотопному составу. Предполагается, что отличительные особенности выделенных групп обусловлены различным составом их источника, причём таковым служит чуть не примитивная (недифференцированная) мантия. Однако, по нашему мнению [20, 21], различия между группами кимберлитовых пород определяются тем, что в составе второй группы кимберлитов присутствует существенно больше расплавленного метасоматизированного материала. В вертикальном разрезе слабо эродированных трубок с сохранившимися кратерными фациями существенное влияние на состав кимберлитов оказывает содержание материала вмещающих пород. Кратерные породы, в которых значительный объём занимает дезинтегрированный материал гранитоидов (трубка Мвадуи), имеют высокое содержание SiO_2 , Al_2O_3 . При сносе в кратер траппового материала повышается содержание SiO_2 , CaO и Na_2O (трубка Орапа). Поскольку в разрезе прорванных кимберлитами коровых пород присутствует мало карбонатной составляющей, содержание CaO и CO_2 в кимберлитах Африки почти на порядок ниже, чем этих же пород Сибирской платформы [21].

Алмазоносность кимберлитов Африканской платформы в промышленных трубках колеблется от первых десятых долей карата на 1 т кимберлита (трубка Коффифонтеин) до 1,41 кар/т (группа трубок Венеция). Распределение алмазов в пределах вертикального разреза трубок варьирует в широких пределах в зависимости от геолого-петрографического строения диатрем. Так, например, содержание алмазов в кратерных породах слабо эродированных трубок низкое за счёт разбивания кимберлитов «пустым» материалом из вмещающих диатремы пород. В то же время алмазоносность закраторных выбросов кимберлитов в районе трубки Мвадуи в Танзании (в целом с низким содержанием алмазов) была относительно высокой благодаря тому, что эти маломощные (первые метры) образования возникли в результате выветривания примерно 30-метрового слоя кимберлита. Содержание алмазов в кимберлитах вертикального канала обычно в несколько раз (а в Анголе до 30 раз) выше, чем в кратере. Исключение в этом отношении составляют кимберлиты канала трубки Мвадуи, где содержания снизились до первых десятков долей карата на 1 т кимберлита и промышленная разработка трубы стала нерентабельной. Содержание алмазов в коре выветривания эродированных трубок Африканской платформы всегда намного выше, чем в плотной породе. Среди алмазов из коренных месторождений на африканском континенте преобладают комбинационные морфологические типы, хотя в них количество октаэдров также довольно велико. В целом крупные алмазы значительно чаще встречаются в трубках с относительно пониженной алмазоносностью.

Выводы

Таким образом, проведённое сравнительное изучение кимберлитов Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ показали наличие как общих, так и отличительных особенностей, однако практически целесообразно применять составленные модели только для конкретного региона. С глубиной происходит сужение трубчатых тел и постепенный переход их в дайковые – подводящие каналы. В случае перемещения кимберлитового расплава (флюида) через труднопреодолимые породы (например, силы траппов, тела рифовых известняков), последние играют роль барьера, выше и ниже которых происходит изменение морфологии тел. С глубиной кимберлиты постепенно «очищаются» от приме-

си терригенно-карбонатного материала вмещающих пород, хотя заимствование значительного количества вещества из окружающей среды постмагматическими растворами может сохраняться на значительных интервалах. Содержание глубинных минералов кимберлитов в вертикальном разрезе варьирует, в то время как их соотношения остаются почти постоянными. Состав мантийных минералов с глубиной практически не меняется. Установлена зависимость содержания индикаторных минералов от формы кимберлитовых тел (независимо от места отбора в вертикальном разрезе). В алмазоносных кимберлитах Восточно-Европейской платформы не обнаружены мегакристы минералов, часто встречающиеся в аналогичных породах Сибирской и Африканской платформ, и субкальциевые (высокотемпературные) клинопироксены. В подавляющем большинстве дайковых тел индикаторных минералов намного больше, чем в трубчатых. Больше и размеры этих минералов в дайках, а также увеличивается относительное количество пикроильменита и малохромистых пиропов. Эта закономерность отмечена нами как в кимберлитовых телах Сибирской, платформы, так и на Африканском континенте (Лесото и др.). Особенностью африканских кимберлитов является исключительно широкий набор литологических и текстурно-минералогических типов и разновидностей вмещающих пород, причём осадочный комплекс представлен хорошо литифицированными разностями. Отмеченные особенности окружающей среды здесь оказывают большое влияние на целый ряд особенностей кимберлитов: морфологию тел, характер вторичных изменений и частично на химический состав кимберлитов. Масштабы вторичных изменений кимберлитов с глубиной обычно затухают, за исключением тех случаев, когда на глубоких горизонтах во вмещающих породах концентрируются значительные объёмы минерализованных вод. Воздействие последних приводит к интенсивному постмагматическому преобразованию кимберлитов, которые по своему характеру и направленности отличаются от гипергенного изменения породы. Отмеченные некоторые вариации содержаний некоторых петрогенных оксидов обусловлены неравномерным распределением в вертикальном разрезе трубок контаминированного материала вмещающих пород и постмагматическими изменениями кимберлитов. Алмазоносность кимберлитовых тел, морфология и физические свойства алмазов одних и тех же фаз породы до перехода в подво-

дящий канал существенно не меняются. Существуют некоторые общие признаки на уровне групп трубок, кимберлитовых полей, минерагенических зон, субпровинций, что позволяют создавать обобщённые модели различного ранга для их эффективного использования при прогнозно-поисковых и проектных работах на каждой конкретно платформе и в конкретных их алмазоносных районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев В. П. Признаки каталитического окисления при высокотемпературном воздействии кимберлитового расплава на алмазы / В. П. Афанасьев, [и др.] // Докл. АН СССР. – 1980. – Т. 250, № 4. – С. 949–952.
2. Благулькина В. А. Петрохимические типы кимберлитов Сибири / В. А. Благулькина // Советская геология. – 1969. – № 7. – С. 60–70.
3. Бобриевич А. П. Алмазные месторождения Якутии / А. П. Бобриевич [и др.]. – М. : Госгеолтехиздат, 1959. – 527 с.
4. Бобриевич А. П. Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии / А. П. Бобриевич [и др.]. – М. : Недра, 1964. – 192 с.
5. Гаранин В. К. Вертикальная зональность трубки Мир / В. К. Гаранин, Г. П. Кудрявцева, О. А. Михайличенко // Геология рудных месторождений. – 1987. – № 5. – С. 11–26.
6. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них / Дж. Доусон. – М. : Мир, 1983. – 300 с.
7. Зинчук Н. Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ / Н. Н. Зинчук // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
8. Зинчук Н. Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы / Н. Н. Зинчук. – Новосибирск : Изд-во НГУ, 1994. – 240 с.
9. Зинчук Н. Н. Постмагматические минералы кимберлитов / Н. Н. Зинчук. – М. : Недра, 2000. – 538 с.
10. Зинчук Н. Н. Древние коры выветривания и поиски алмазных месторождений / Н. Н. Зинчук, Д. Д. Котельников, Е. И. Борис. – М. : Недра, 1983. – 196 с.
11. Зинчук Н. Н. Кимберлитовая трубка Удачная (вещественный состав и условия формирования) / Н. Н. Зинчук [и др.]. – Новосибирск : Изд-во НГУ, 1993. – 147 с.
12. Зинчук Н. Н. Вторичные минералы кимберлитов / Н. Н. Зинчук [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1987. – 284 с.
13. Зуев В. М. Слабоэродированные кимберлитовые трубки Анголы / В. М. Зуев [и др.] // Геология и геофизика. – 1998. – № 3. – С. 56–62.
14. Илупин И. П. Геохимия кимберлитов / И. П. Илупин, Ф. В. Каминский, Е. В. Францессон. – М. : Недра, 1978. – 352 с.
15. Ковальский В. В. Кимберлитовые породы Якутии и основные принципы их петрогенетической классификации / В. В. Ковальский. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 184 с.
16. Маршинцев В. К. Вертикальная неоднородность кимберлитовых тел Якутии / В. К. Маршинцев. – Новосибирск : Наука, 1986. – 240 с.
17. Милашев В. А. Кимберлитовые провинции / В. А. Милашев. – Л. : Недра, 1974. – 218 с.
18. Милашев В. А. Кимберлиты и глубинная геология / В. А. Милашев. – Л. : Недра, 1990. – 167 с.
19. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии / Н. В. Соболев // Тр.ИГ и Г СО РАН СССР. – Новосибирск : Наука, – 1971. – 264 с.
20. Харьков А. Д. История алмаза / А. Д. Харьков, Н. Н. Зинчук, В. М. Зуев. – М. : Недра, 1997. – 601 с.
21. Харьков А. Д. Коренные месторождения алмазов мира / А. Д. Харьков, А. И. Крючков. – М. : Недра, 1998. – 555 с.

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) Академии наук Республики Саха (Якутия), Мирный
Н. Н. Зинчук, председатель ЗЯНЦ АН РС(Я), доктор геолого-минералогических наук, профессор
nnzinchuk@rambler.ru
Тел. 8 (4852) 725-562

The West Yakut center of science of Academy of Sciences of Republic Sakha, Mirny
N. N. Zinchuk, chairman ehe West Yakut center of science of Academy of Sciences of Republic Sakha, Doctor of the Mineralogical and Geological Sciences, Professor
nnzinchuk@rambler.ru
Tel. 8 (4852) 725-562