

Особенности некоторых геолого-генетических типов алмазоносных магматитов

Аннотация. Известные в мире типы алмазоносных магматитов в целом можно отнести к двум группам пород – мантийной и коровой. Первая из них включает кимберлиты, лампроиты, кимберлит-лампроиты, пикритовые мончилиты, лампрофиты, коматииты и гранатовые пироксениты. Коровые породы представлены породами ударно-метаморфогенного типа – импактитами. Пока нет единого мнения о генетическом типе алмазов из кристаллических пород (типа Кокчетав): одни исследователи относят их к мантийной группе, другие обосновывают механизм корового происхождения этих алмазов. Для кимберлитов, лампроитов и кимберлит-лампроитов характерной формой выделения являются диатремы, дайки, реже штокверки и силлы. Прочие типы коренных месторождений алмазов локализуются в коровых породах, залегающих в основном в виде массивов (плутонов). Первоисточником кимберлитов и лампроитов являются дезинтегрированные мантийные породы (перидотиты и эклогиты), фрагменты которых вынесены магмой в земную кору. Лампроиты отличаются от кимберлитов высокими содержаниями Ti, K, P и некоторых других элементов. Нет существенных различий между алмазами этих двух типов магматитов. Метаморфогенные алмазы из кристаллического комплекса имеют очень малые размеры (редко превышающие десятые доли миллиметра) и встречаются в виде кристаллов кубического габитуса, скелетных форм и их сростков. Образовались они в коровых условиях при *P-T* параметрах, стабильных для этого минерала. Новый тип коренных месторождений алмазов, связанный с импактитами, сформировался в результате удара космических тел о поверхность Земли. Образование кристаллов в них обусловлено твердофазным переходом графита в алмаз при повышенных давлениях, возникающих в процессе удара. Алмазы из кимберлитов и лампроитов имеют как ювелирное, так и техническое значение; последнее характерно и для других типов кристаллов.

Ключевые слова: кимберлиты, лампроиты, метасоматические и импактные алмазы, трубки, дайки и жилы.

ЗИНЧУК НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, nnzinchuk@rambler.ru

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

Specific features of particular geological-genetic types of diamond-bearing magmatites

N. N. ZINCHUK

West-Yakutian Scientific Center of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Mirnyi

Abstract. Globally recognized types of diamond-bearing magmatites can generally be classified into two groups, the mantle-derived and crustal ones. The first group comprises kimberlites, lamproites, kimberlite-lamproites, picritic monchiquites, lamprophyres, komatiites, and garnet pyroxenites. The crustal rocks are represented by impact-metamorphogenic types, or impactites. There is currently no consensus regarding the genetic type of diamonds found in crystalline rocks (of the Kokchetav type): some researchers assign them to the mantle group, while others argue for the crustal origin. Kimberlites, lamproites, and kimberlite-lamproites typically occur as diatremes and dikes, and less frequently as stockworks and sills. Other types of primary diamond deposits are hosted in crustal rocks that mainly occur as intrusive massifs (plutons). The original source of kimberlites and lamproites is represented by disintegrated mantle rocks (peridotites and eclogites), which fragments were brought into the Earth's crust by the magma. The lamproites differ from the kimberlites in their high content of Ti, K, P, and certain other elements. There are no significant differences between the diamonds found in these two types of magmatic rocks. Metamorphogenic diamonds from the crystalline complex are very small (rarely exceeding a fraction of a millimeter) and occur as crystals of cubic habit, skeletal forms, and their aggregates. They formed under crustal conditions at *P-T* parameters characteristic for stability of this mineral. A new type of primary diamond deposit, associated with impactites, formed as a result of an impact of cosmic bodies onto the Earth's surface. The diamond crystallization in these deposits resulted due to the solid-phase transition of graphite to diamond under high pressures generated during the impact.

Diamonds from kimberlites and lamproites are valuable for both gem and technical applications; the technical significance is characteristic of other diamond types as well.

Key words: kimberlites, lamproites, metasomatic and impact diamonds, pipes, dykes, veins.

Практически все коренные месторождения алмазов мантийного происхождения сосредоточены [6, 25, 31, 39] в пределах древних кратонов, консолидация которых завершилась в архее. Согласно правилу Клиффорда [38, 43], кимберлиты могут располагаться в пределах протерозойских подвижных поясов, но их алмазоносность в этой позиции должна быть весьма ограниченной или эти породы не будут содержать алмазов. Действительно, в краевых зонах кратонов до недавнего времени не были известны промышленные коренные месторождения алмазов, хотя россыпи этого минерала с неустановленными коренными источниками могут быть здесь развиты довольно широко. Яркий пример этого – северо-восток Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) [5, 27, 40]. Однако в последние несколько десятилетий коренные месторождения алмазов были открыты и в периферийных частях древних кратонов. Например, в краевых частях древней Восточно-Европейской платформы (ВЕРП) в Архангельской алмазоносной провинции (ААП) открыты алмазоносные диатремы, а продуктивные трубки Дьянга и Малокуонапская известны в ЯАП Сибирской платформы (СП). Лампроитовая трубка Аргайл, открытая в Западной Австралии, локализована в подвижном верхнепротерозойском поясе Кинг-Леополд [28, 41]. Группа кимберлитовых трубок Венеция и диатрема Ривер Ранч расположены в подвижном протерозойском поясе Лимпопо на юге Южно-Африканской платформы (ЮАП).

Алмаз – минерал, образующийся как в условиях земных недр, так и при сверхскоростном соударении космических тел с землёй [1–4, 9–11, 26, 42]. Выделяются обычно два генетических типа коренных месторождений алмазов: мантийный и коровый. В мантийном типе уверенно определяются кимберлитовый и лампроитовый типы магматизма, заполняющие диатремы и реже дайки. В коровом типе известны [7–9, 22–24, 28–30] динамо-метаморфогенный (линейные зоны неправильной формы или линзовидные тела сложных очертаний) и ударно-метаморфогенный (метеоритные кратеры или астроблемы). Рассматривая проблему коренного алмазоносного магматизма в

целом, можно отметить наличие четырёх геолого-генетических типов коренных месторождений алмазов: кимберлитового, лампроитового, метаморфогенного и импактного.

Коренные месторождения алмазов кимберлитового типа некоторые исследователи [12–15, 24, 32] разделяют на два генетических типа: взрывной, включающий в основном трубки взрыва, и интрузивный (гипабиссальный), объединяющий дайковые, жильные, штокверковые тела и силлы. Такие месторождения по содержанию алмазов разделяются на весьма высоко-, средне- и низкоалмазоносные. По крупности кристаллов можно выделить месторождения с крупными, среднекрупными и мелкими алмазами. Предлагаемая [8, 21, 37] типизация коренных месторождений алмазов учитывает значительное количество важных признаков, включающих геологическое строение трубок, их морфологию и размеры, индикаторные свойства пород, выполняющих диатремы, содержание индикаторных минералов (ИМК) и алмазов, степень вторичных изменений, соотношение глубинных и коровых ксенолитов и др. Кимберлитовые трубки различаются между собой по многим параметрам: расположением в различных геотектонических обстановках, образованием в широком возрастном интервале, неодинаковой степенью эродированности, отличием по минералого-петрохимическим особенностям и др. Индивидуальные особенности чётко проявляются [15–17] у кимберлитов, размещающихся в различных провинциях, субпровинциях, районах и полях, а иногда даже в рядом расположенных диатремах. Среди кимберлитов выделены [5, 18–20, 27] магнезиальные и железисто-магнезиальные разновидности, а также обособлена кимберлит-лампроитовая группа алмазоносных пород, занимающая промежуточное положение между кимберлитами и лампроитами. Основные различия между этими группами заключаются в повышенной магнезиальности первых, низком содержании в них Fe, K, R и некоторых других элементов. Для Mg-кимберлитов типичны низкие концентрации пикроильменита, малое количество низкохромистого пиропы, а в основной массе редко встречаются

апатит, пикроильменит, перовскит и слюда. Магнезиальные кимберлиты в основном локализованы в центральных районах Якутской алмазоносной провинции Сибирской платформы, в то время как железисто-магнезиальные, характеризующиеся повышенным содержанием перечисленных элементов, приурочены в основном к северным районам региона. Промышленные диатремы кимберлитов сформировались в широком возрастном интервале: от протерозоя (трубка Премьер, 1750 ± 100 млн лет) до мезозоя (трубки района г. Кимберли, 90 млн лет). Кимберлитовые трубки Венеция и Ривер Ранч, по данным радиологических определений, имеют возраст 550 млн лет.

Коренные месторождения алмазов древних платформ мира подверглись различному *эрозионному срезу*: от минимального, когда около кратера трубки сохранился закратерный выброс (трубка Мвадуя, Танзания), до значительного, когда на земную поверхность выведены низы диатремовой части или даже подводящие каналы (трубки Шенгли и Бинхай, Китай). В целом среди изученных нами [15–19, 39] коренных месторождений алмазов преобладают среднеэродированные трубки с сохранившимся различным по величине отрезком диатремовой зоны – наиболее продуктивной части кимберлитовой и лампроитовой постройки. Эрозионный срез кимберлитовых диатрем в различных регионах неодинаковый, что связано с геолого-тектоническими особенностями эволюции различных частей платформ. Так, среди промышленно алмазоносных диатрем ЯАП установлены (рис. 1) тела с сохранившимися в верхних горизонтах кратерными фациями озёрного происхождения (трубки Юбилейная, Краснопресненская и др.), тела с частично эродированными кратерами (сохранились участки кратеров, переходящие в диатремозоны на трубке Айхал) и с практически полностью эродированными (рис. 2) кратерами (трубки Интернациональная, Мир, Зарница, Удачная, Заполярная, Новинка и др.). Среди продуктивных трубок наиболее интенсивно эродированы диатремы Верхнемунского алмазоносного района (ВМАР), а менее всего – тела Далдыно-Алакитского (ДААР).

Продуктивные трубки Архангельской алмазоносной провинции эродированы незначительно. В пределах основного в ААП Зимнебережного района кимберлитового и родственного ему магматизма выделяются пять полей: Золотицкое (трубки Ломоносовская, Пионерская, Карпинская-1 и -2,

Архангельская, Снегурочка, Поморская, Кольцовская, Первомайская и др.), Верхотинское (Волчья, Верхотинская, Осетинская, Майская и др.), Кепинское (Шочинская, Октябрьская и др.), Мельское (известен один силл) и Полтозерское (многочисленные трубки базальтоидов). Характерно относительно однотипное внутреннее строение трубок. У слабо эродированных диатрем (рис. 3) сохранился кратер, выполненный осадочно-вулканогенными фациями, верхние горизонты которых образовались в озёрных бассейнах. Кратерные образования представлены двумя пачками: верхней вулканогенно-осадочной и нижней туфогенной. Вулканогенно-осадочная пачка сложена преимущественно красноцветными песчаниками с подчинённым количеством алевролитов, аргиллитов и осадочных брекчий. Глубже (до уровня 130–160 м) залегает туфогенная пачка, в которой отмечены переслаивания туфов и туффитов, количество прослоев которого (мощностью от 0,3 до 10 м) достигает 12.

Территория ЮАП многими исследователями считается эталонной, поскольку в её пределах месторождения мантийных алмазов (коренные и россыпные) развиты довольно широко и представлены многими типами [5, 28, 38]. Эти месторождения распространены на обширной территории Центральной и Южной Африки, группируясь [38–41] в отдельные субпровинции, районы и поля. Достоверно пока установлен только один тип мантийных алмазов – кимберлитовый, месторождения которого разрабатываются в ЮАР, Ботсване, Танзании, Заире, Зимбабве и Анголе. Подавляющее большинство кимберлитовых тел африканского региона имело выход на дневную поверхность. Самая верхняя часть раструба трубок часто напоминает шляпу гриба, края которой переходят в кольцевой вал, сформированный выбросами собственно эндогенного кимберлитового материала и пород, прорванных кимберлитовой колонной. Кольцевой вал обычно эродирован, и его реликты сохранились (рис. 4) около единичных диатрем в Танзании (Мвадуи), Мали (Касаме) и Заире (массивы А и V). Переход между кратерной частью и вертикальным каналом как постепенный, так и относительно резкий.

Особенности состава пород трубок различных алмазоносных провинций существенно отличаются. Каждая из частей диатрем (раструб, вертикальный канал и подводящий дайкоподобный канал) сложена породами, имеющими определённые

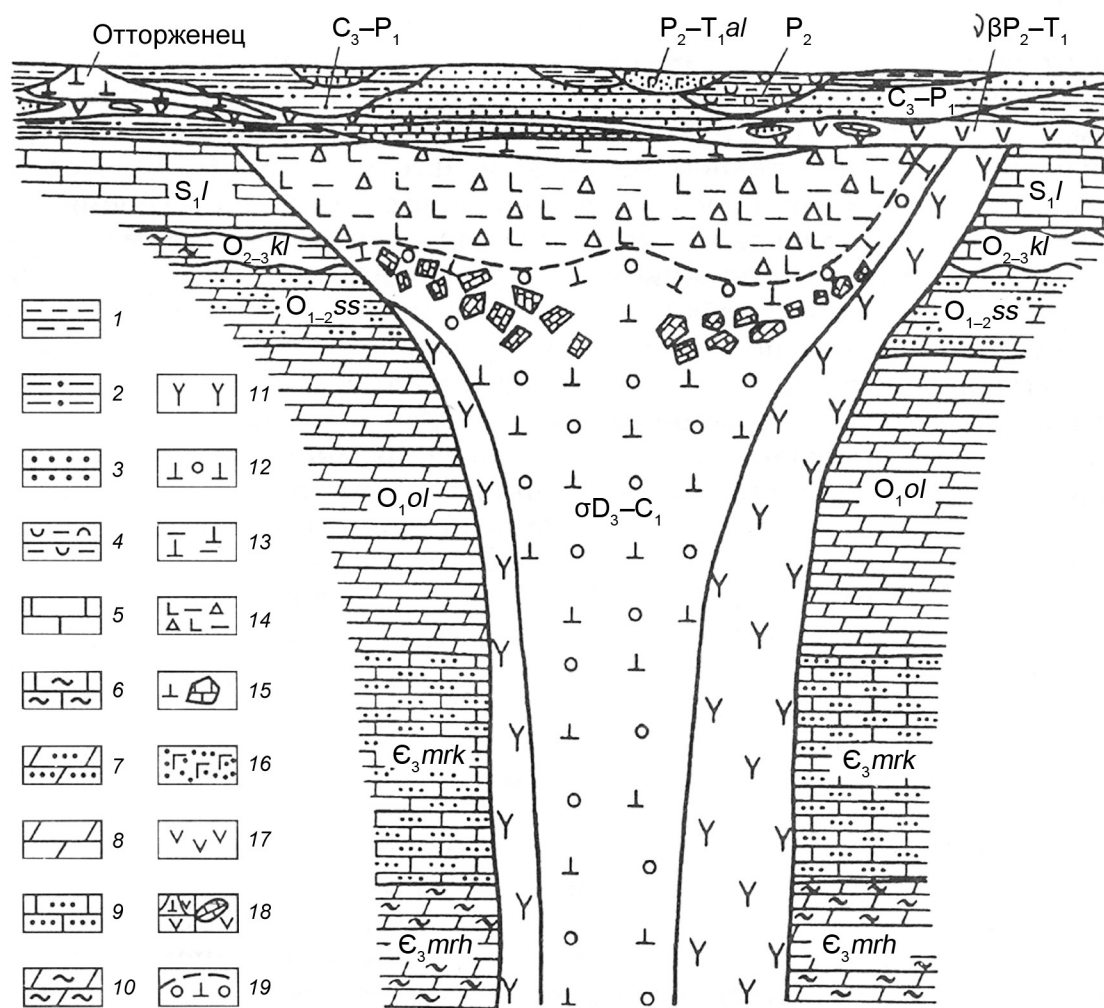


Рис. 1. Геологический разрез кимберлитовой трубки Юбилейная. По [39]:

1–4 – перекрывающие породы верхнего палеозоя: 1 – углистые и 2 – песчаные алевролиты, 3 – разномерные песчаники, 4 – туфоалевролиты; 5–10 – вмещающие породы: 5 – известняки лландоверийского яруса меикской свиты, S_1/l , 6 – мергелистые и глинистые известняки кылахской свиты, O_{2-3}/kl , 7 – доломиты и песчаные известняки сохолоохской свиты, O_{1-2}/ss , 8 – доломиты, глинистые доломиты и доломитистые известняки олдондинской свиты, O_1/ol , 9 – терригенно-карбонатные породы маркокинской свиты, E_3/mrk , 10 – глинисто-карбонатные породы мархинской свиты, E_3/mrh ; 11–12 – кимберлитовые породы: 11 – порфировые 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 перемещённые интрузией траппов; 19 – граница пород кратерной фации

вещественные и текстурно-структурные особенности. Существенные закономерности в смене пород создают [24, 33, 44] своеобразную вертикальную зональность коренных месторождений алмазов как на Сибирской, так и на других древних платформах мира. В слабо эродированных

диатремах под вулканогенно-осадочными образованиями «чаши» в пределах кратерной части залегают эксплозивно-обломочные породы (туфы и туфобрекчии) с гидрохимическим типом цемента. Вулканический канал сложен эруптивными кимберлитовыми брекчиями (ЭКБ) и туффи-

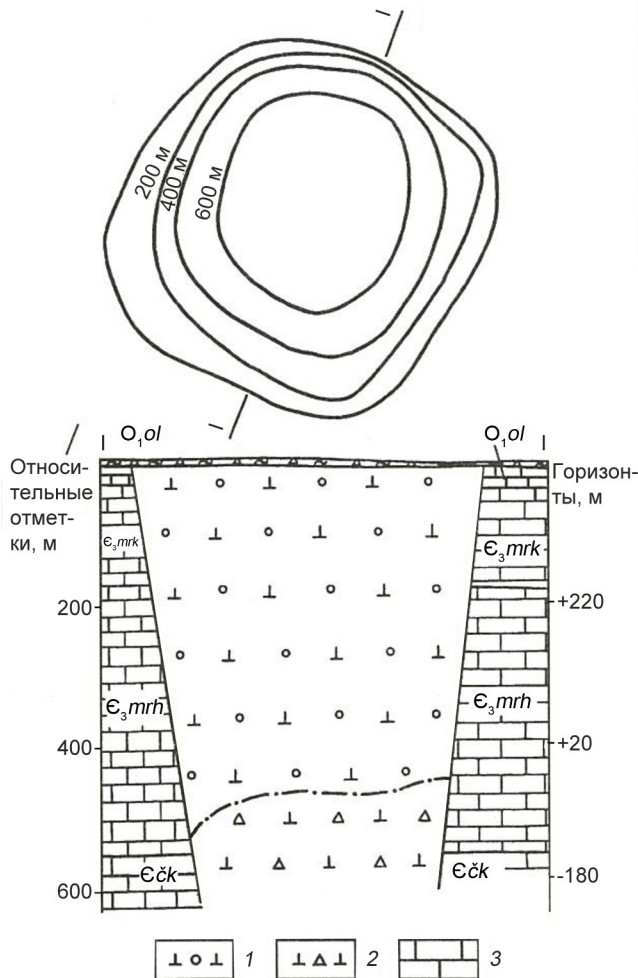


Рис. 2. Изменение морфологии с глубиной (в плане) и схематический разрез кимберлитовой трубки Зарница: брекчия: 1 – автолитовая и 2 – с массивной текстурой цемента; 3 – вмещающие породы нижнего палеозоя

зитами. Среди них выделяются многочисленные структурно-петрографические типы и разновидности с широкими пределами колебания состава и размеров обломков вмещающих и глубинных пород и минералов. Породы подводящего канала диатрем СП представляют собой массивные (порфиновые) кимберлиты. Порфировыми вкрапленниками являются оливин первой генерации, нередко подвергавшийся замещению серпентином с карбонатом, реже флогопитом. Основная масса пород кристаллически-зернистая с широкими вариациями концентрации многих минералов: оливина, флогопита, монтичеллита, реже перовскита, апатита и других минералов.

В вертикальном разрезе диатрем Архангельской алмазоносной провинции под вулканогенно-осадочными образованиями кратера отмечается чётко выраженный вертикальный канал, переходящий на глубинах в корневую зону [16–19, 34]. Тектурно-структурные особенности и петрографический состав пород, заполняющих различные морфологические элементы диатремовой структуры, существенно меняются. Породы жерла представлены вулканическими образованиями: туфобрекчиями, автолитовыми брекчиями (АБ) и порфировыми кимберлитами (ПК). Пространственное соотношение этих трёх основных типов пород подчиняется [20–26] определённым закономерностям и обусловлено в основном последовательностью их формирования. Ксенотуфобрекчии, будучи более ранними образованиями, залегают обычно в периферийных и верхних частях диатрем. Автолитовые брекчии, внедрявшиеся в следующий этап становления трубок, слагают «рудные столбы» в центральных частях тел. В нижних частях некоторых трубок вскрыты порфировидные кимберлиты – породы эффузивного облика, массивные, содержащие псевдоморфозы сапонита и серпентина по оливину и флогопит во вкрапленниках. В целом характерна значительная изменённость основной массы пород вторичными (гидротермально-гипергенными) процессами.

Вертикальный канал диатрем Африканского континента обычно выполнен туффизитовой брекчией, сложенной эндогенным материалом: лапиллями кимберлитов, дискретными зёрнами оливина и других глубинных минералов, погружённых в мелкозернистую (нередко микролитовую) матрицу, образующуюся [13, 30, 36] из газовой фазы или конденсатов, а также гидротермальных флюидов. Сильные последующие вторичные изменения маркируют те признаки, по которым можно было бы реставрировать первичный состав породы и механизм формирования как матрицы, так и туффизитовой брекчии в целом. Характерной особенностью корневых зон Южно-Африканской платформы является наличие чётко выраженных участков, сложенных контактовыми брекчиями (КБ). Установлены три основных типа брекчий, различающихся 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

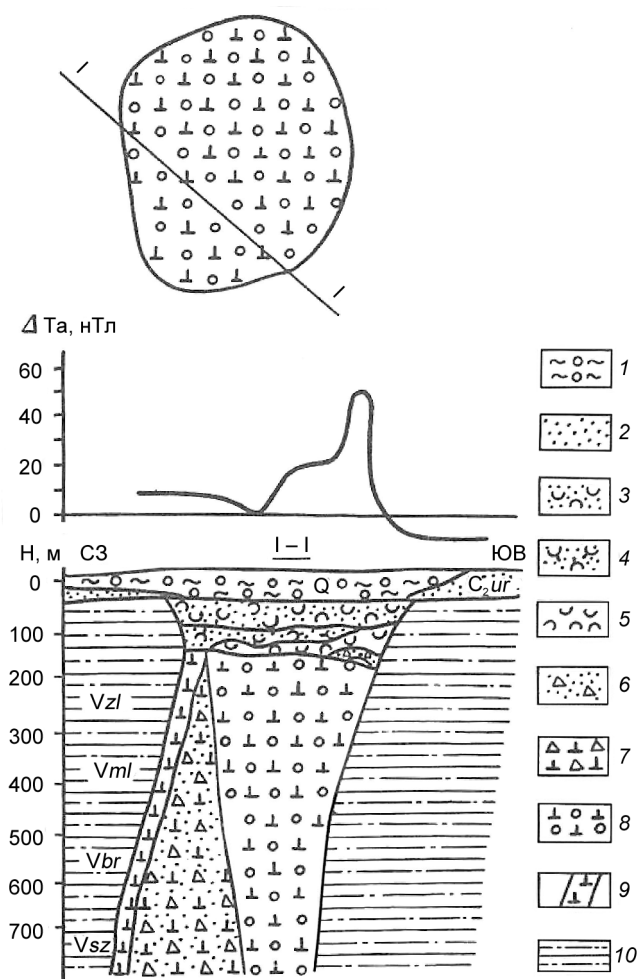


Рис. 3. Схематический план и геологический разрез кимберлитовой трубки Карпинская-1 ВЕП [40]:

1 – современные отложения; 2 – песчаники урзургской свиты среднего карбона, C_{2ur} ; 3–6 – породы кратерной фации: 3 – песчаники с примесью кимберлитового материала, 4 – туффиты, 5 – туфопесчаники, 6 – брекчии осадочных пород; 7–9 – кимберлитовые породы: 7 – ксенотуфобрекчии, 8 – автолитовая брекчия, 9 – дайки туфизитов; 10 – глинисто-песчаные породы венда

различными интрузиями корневых зон обычно постепенные, через так называемую зону смешения, однако иногда довольно резкие. Кимберлиты различных интрузий корневых зон ЮАП отличаются между собой по петрографо-минералогическим особенностям, свидетельствующим о том, что они являются производными нормальной кимберлитовой магмы. Это магматические породы порфировой структуры, сложенные ксенозёрнами мантийных индикаторных минералов ким-

берлитов (ИМК), порфировыми вкрапленниками оливина и основной массы полиминерального состава (оливина II группы, монтichelлита, флогопита, клинопироксена и мелилита).

Ксеногенный материал в диатремах кимберлитов Сибирской платформы делится на четыре генетические группы: 1) осадочные породы платформенного чехла, являющиеся вмещающими для трубок до глубины 2,2 км в центральной части провинции и 0,5–1,5 км в северных районах, 2) изверженные – траппы, внедрившиеся в осадочный чехол до образования диатрем, 3) метаморфические, слагающие фундамент платформы, 4) глубинные мантийного происхождения. Наибольшим распространением (от редких обломков до 90 % объёма породы) пользуются ксенолиты осадочных пород и минералы из них (кварц, плагиоклазы и другие терригенные компоненты). Обычно повышенное содержание терригенной примеси отмечается в трубках примерно на тех уровнях, где и вмещающие породы обогащены терригенным материалом. Выявлена тенденция возрастания содержаний трапповых ксенолитов на уровнях, отвечающих залеганию трапповых силлов, прорванных трубками (в Малоботуобинском алмазоносном районе это глубины 500–550 и более 1000 м). Количество ксенолитов пород фундамента Сибирской платформы в целом увеличивается с глубиной, однако в горизонтальных сечениях они распределены хаотично.

Ксенолиты кимберлитов Восточно-Европейской платформы представлены тремя генетическими типами [39–41]: 1) осадочными породами, 2) кристаллическими сланцами фундамента и 3) нодулями пород верхней мантии. Наиболее распространёнными являются осадочные ксенолиты и ксенозёрна минералов дезинтегрированных пород венда. Они играют основную роль в составе кратерных пород и весьма существенную во всех других типах и разновидностях кимберлитовой брекчии. Отличительная особенность пород кратерной фации – присутствие огромного количества зёрен кварца, в то время как обломки кварцсодержащих пород (песчаников и алевролитов) находятся в подчинённом количестве. Велика доля терригенного материала в составе ксенобрекчий и даже автолитовых брекчий. Отдельные зёрна кварца наблюдаются и внутри автолитов, свидетельствуя об образовании последних на уровне осадочного чехла. С глубиной содержание материала осадочных пород постепенно снижается

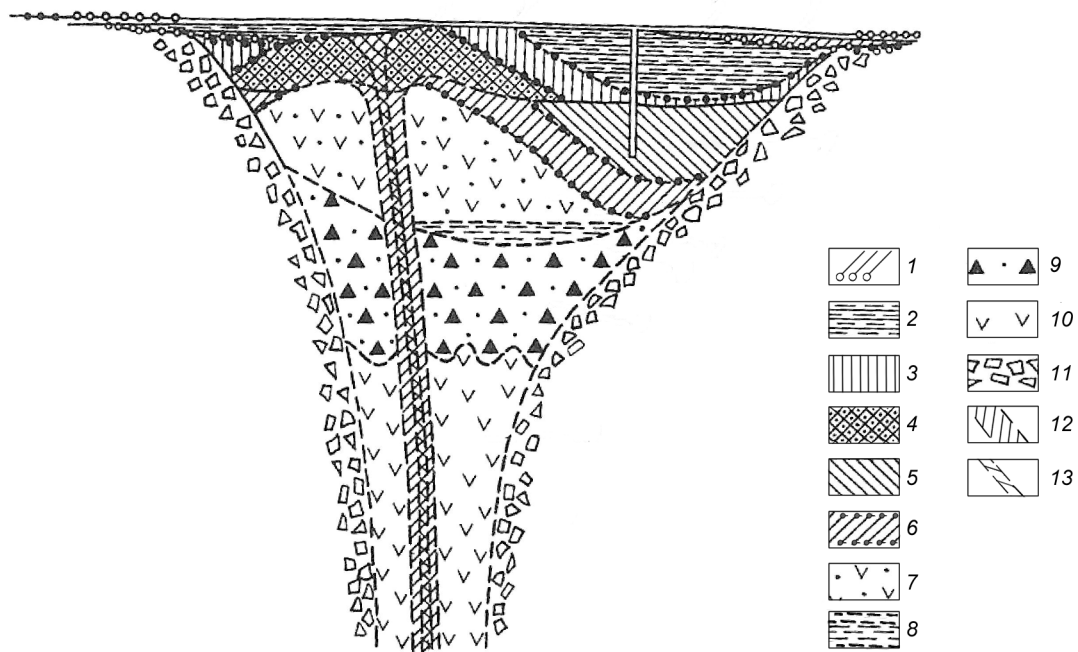


Рис. 4. Геологический разрез кимберлитовой трубки Мвадуи. По М. Nremblay (1956):

1 – алмазонасные конгломераты четвертичного возраста; 2 – терригенно-туфогенные осадки озёрного типа (глины, мергели, мелкозернистый туф); 3 – жёлтые переходные туфы; 4 – туфогенные образования верхнего горизонта; 5 – серые слоистые туфогенные осадки с прослоями зелёных туфов; 6 – переходные серо-зелёные туфы; 7 – переотложенные породы зелёного цвета (агломераты и кимберлит-гранитные брекчии); 8 – переотложенные породы, подстилающие кратерные осадочно-вулканогенные отложения; 9 – жерловая брекчия; 10 – первичный кимберлит; 11 – брекчия Мак-Кьюэна; 12–13 – кимберлиты заключительных фаз внедрения

и возрастает роль ксенолитов кристаллических сланцев и гнейсов. Нодулы пород верхней мантии в диатремах региона редки и размеры их не превышают первых сантиметров. Находки ксенолитов глубинных пород в основном приурочены к автолитовым брекчиям и представлены преимущественно деплетированными существенно оливиновыми породами. Здесь не обнаружены ксенолиты верлитов и катаклазированных перидотитов, широко распространённых в диатремах Сибирской и Южно-Африканской платформ.

Генетически ксеногенные породы в диатремах Африканского континента делятся на осадочные образования, изверженные породы, кристаллические сланцы архейского фундамента и нодулы пород верхней мантии [39–41]. Распределение ксеногенного материала в трубках ЮАП довольно неравномерное. В слабо эродированных диатремах в кратерах скапливаются огромные массы дезин-

тегрированного материала тех пород, в которых залегает эта часть трубок. Так, в трубках Танзании, вмещающими породами которых на уровне кратеров являются граниты и гранитогнейсы, кратерные фации диатрем переполнены дезинтегрированным материалом гранитоидов. В кратерных образованиях трубок Ботсваны доминирует раздробленный материал долеритов. В пределах вертикального канала содержание дезинтегрированного материала вмещающих пород варьирует (в зависимости от положения в диатреме) от единичных обломков (центральные части) до многих десятков процентов (приконтактные участки). Очень часто в кимберлитах Африканского континента встречаются ксенолиты пород эродированных формаций [30–34]. Корневые зоны диатрем Южно-Африканской платформы сложены двумя типами образований, различающихся по содержанию ксенолитов вмещающих пород: гипабис-

сальными кимберлитами с низким содержанием ксенолитов и несколькими генетическими типами брекчий, в которых указанные ксенолиты занимают основной объём. Для кимберлитов ЮАП характерно довольно высокое содержание нодулей глубинных пород, в целом относительно слабо изменённых вторичными процессами.

Содержание *индикаторных минералов кимберлитов (ИМК)* также существенно изменяется в диатремах сравниваемых древних платформ [38–41]. Общими можно считать низкие концентрации ИМК в верхних частях трубок, сложенных осадочно-вулканогенными образованиями. В тонкозернистых фациях стратифицированных пород зёрна первичных минералов небольших размеров и угловато-неправильной формы. Содержание ИМК на глубоких уровнях выше, чем в самых верхних частях. На Сибирской платформе по содержанию главных ИМК как алмазоносные, так и неалмазоносные высокоспутниковые трубки делятся на две группы: с высоким содержанием пикроильменита и пироба, а также низким хромшпинелидов и с низким содержанием пикроильменита и повышенным пироба и хромшпинелида. Промышленные коренные месторождения центральной части СП принадлежат в основном к высокоспутниковому типу. Алмазоносные высокоспутниковые кимберлиты первой группы присутствуют в Якутской алмазоносной провинции в Мирнинском (Мир, Дачная), Далдынском (Удачная, Дальняя, Зарница) и Алакитском (Сытыканская, Комсомольская) полях. Алмазы этих месторождений по морфологии варьируют от гладкогранных октаэдров (Мир) до комбинационных кристаллов (Удачная, Сытыканская). Высокоспутниковые алмазоносные кимберлиты второй группы (с низким количеством пикроильменита) распространены более широко, чем первой. В Мирнинском поле к ним относятся трубки Спутник, имени XXIII съезда КПСС, Интернациональная, в Алакит-Мархинском – Айхал и Юбилейная, в Верхнемунском – Заполярная, Поисковая, Новинка и Комсомольская-Магнитная. Все перечисленные диатремы характеризуются пониженным (вплоть до исчезновения) содержанием пикроильменита и высоким – пироба. Высокоспутниковые слабоалмазоносные кимберлиты относительно широко распространены в центральных зонах алмазоносных провинций и также делятся на две группы: с высокими (Амакинская, Ленинградская, Геофизическая, Долгожданная, Украинская и др.)

и низкими (лампрофиры Чомполинского поля, пикриты Чадобецкого поднятия и др.) содержаниями пикроильменита.

В целом продуктивные кимберлиты Архангельской алмазоносной провинции принадлежат к низкоспутниковому типу. Минимальные концентрации ИМК установлены в кратерных породах, несколько повышено их количество в автолитовых брекчиях. По морфологии и физическим свойствам алмазы ААП разделяются [39–41] на две группы: 1) крупнее 2 мм, представленные в основном додекаэдрами (округлый тип), и 2) меньше одного мм, имеющие форму плоскогранных октаэдров с тригональной и дитригональной формой граней. Наиболее широко распространены бесцветные кристаллы, но встречаются и окрашенные в зеленовато-жёлтый и жёлтый цвета. Отмечено [13–18] повышенное количество включений минералов эклогитового парагенезиса в алмазах из кимберлитов региона. Содержание пироба в кимберлитовых брекчиях Архангельской алмазоносной провинции исключительно низкое (обычно не превышающее первых граммов на одну тонну породы) и представлены они зёрнами менее одного миллиметра округлой или овальной формы, окружённые изменённой келифитовой каймой. Преобладают высокохромистые ($> \text{Cr}_2\text{O}_3$) разновидности минерала, что подчёркивает приуроченность его к алмазной ассоциации и генезис из дунит-гарцбургитовых пород. Содержание хромшпинелида в кимберлитовых породах провинции, как и других ИМК, низкое (10,5–91,8 г/т). Преобладают высокохромистые (Cr_2O_3 52–60 %) и высокотитанистые (TiO_2 1–4 %) разновидности минерала, содержащие повышенную концентрацию Fe_2O_3 и пониженную Al_2O_3 . Пикроильменит для алмазоносных трубок региона не характерен, а содержание хромдиоксида очень низкое. Низкоспутниковые неалмазоносные (слабоалмазоносные) магматиты (мелилититы, пикриты и лампрофиры) по составу ИМК существенно отличаются от аналогичных промышленно алмазоносных.

Подавляющее большинство кимберлитов Южно-Африканской платформы с промышленными содержаниями алмазов принадлежит к высокоспутниковому типу [28, 39–41]. Низкое содержание ИМК типично только для группы трубок Венеция, расположенной в пределах подвижного пояса Лимпопо на границе ЮАР и Зимбабве. Набольшие различия по сравнению с Сибирской и

Восточно-Европейской платформами отмечены для пиропы, характеризующегося более низким содержанием Cr_2O_3 и меньшей дифференцированностью по ассоциациям состава, в которых преобладают относительно низкохромистые разновидности лерцолитового и вебстеритового парагенезисов, при практическом отсутствии гранатов верлитового ряда и малом количестве выделений дунит-гарцбургитового состава и алмазной ассоциации. Практически во всех изученных пробах присутствовал пикроильменит, который в более крупных выделениях обогащён марганцевистым компонентом. Хромшпинелид характеризуется повышенной ролью хромистого компонента.

Вторичные минералы являются доминирующими компонентами кимберлитов сравниваемых платформ и особенно верхних частей слабо эродированных трубок, в кратерных частях которых отмечено высокое содержание карбонатного материала [13, 35]. Эти части диатрем часто содержат новообразования в виде жил, жеод и гнезд различной крупности и протяжённости. В туфах и верхних горизонтах брекчий Сибирской платформы встречаются скопления крупных друз и прожилков кварца (или аметиста), кальцита и магнетита. С глубиной масштабы минерализации данного типа постепенно уменьшаются, и в эруптивной брекчии более глубоких горизонтов сохраняются лишь маломощные жилы и прожилки гидротермальных минералов. Степень карбонизации кимберлитов с глубиной проявляет тенденцию к снижению и только в отдельных случаях (восточное тело трубки Удачная и др.) на глубоких горизонтах располагаются блоки практически несерпентинизированного кимберлита с высоким содержанием карбонатного вещества. Для верхних горизонтов диатрем (до глубин 150–200 м) отмечается снижение концентрации флогопита и увеличение хлорита. На больших глубинах диатрем зафиксированы повышенные концентрации пироаурита и амакинита. Большое значение на масштабы вторичного минералообразования оказывают вмещающие терригенно-карбонатные породы. Несмотря на локализацию всех кимберлитовых полей СП в пределах терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, состав последних всё же существенно изменяется как по вертикали, так и по латерали. В Малоботуобинском алмазоносном районе в районах трубок Мир и Интернациональная до глубины 380–450 м распространена терригенно-карбонатная толща

осадков нижнего палеозоя с большим количеством кластогенного материала. Глубже залегают галогенно-карбонатные породы с ограниченным количеством терригенного материала, содержащие пласты гипса и ангидрита. В ДААР и АМАР в нижней части разреза пород нижнего палеозоя нет столь мощных соленосных толщ, а верхняя часть содержит меньше терригенного материала.

Вторичные изменения кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции довольно интенсивны и принципиально отличаются от описанных выше для Сибирской платформы. Ведущим пороодообразующим минералом для большинства типов и разновидностей кимберлитовых пород этого региона является сапонит, составляющий в среднем более 50 % объёма породы. Особенно много сапонита отмечается в верхних горизонтах диатрем региона, где заметную роль играет терригенный материал. Под воздействием постмагматических растворов сапонитизации подвергаются не только оливин и другие компоненты кимберлитов, а также зёрна кварца и полевых шпатов. В автолитовых брекчиях, кроме сапонита, широко развиты тальк и серпентин, роль которых увеличивается в изменённых кимберлитах нижних частей диатрем. Карбонатные минералы (кальцит и доломит), характерные для кимберлитовых трубок Сибирской и Южно-Африканской платформ, редко встречаются в Архангельской алмазоносной провинции или вовсе отсутствуют. Здесь слабо развита и гидротермальная минерализация, однако в отдельных диатремах видны прожилки кальцита, доломита и кварца.

В кимберлитовых диатремах Южно-Африканской платформы отмечена неравномерность изменения пород с глубиной [39–41]. Первые исследователи африканских кимберлитов выделяли в разрезе трубок «жёлтую землю» (верхний горизонт, представляющий собой кору выветривания – КВ) и «синий горизонт» (более глубокие уровни частично изменённой породы). Ниже залежали плотные неизменённые породы. Позже выяснилось, что мощность выветрелых кимберлитов небольшая и существенно отличается в различных диатремах. В трубках и дайках неглубоко от современной поверхности залегают плотные слабоизменённые кимберлиты, нередко с сохранившейся хорошо раскристаллизованной основной массой. Относительно слабая изменённость кимберлитов Африканского континента (за исключением гипергенно-изменённых пород верх-

них горизонтов) обусловлена в основном тем, что здесь (в отличие от СП и ВЕП) во вмещающих диатремы породах отсутствуют большие скопления захороненных вод, а сами породы рамы представлены хорошо литифицированными осадочными отложениями или образованиями изверженного комплекса. Эти обстоятельства определяют степень изменённости кимберлитов и состав вторичных минералов. В верхних изменённых образованиях КВ идентифицированы монтмориллонит (нонтронит), каолинит и гидрослюда. Вторичные минералы более глубоких горизонтов диатрем представлены серпентином и хлоритом. В более гидротермально изменённых породах диагностированы сапонит, вермикулит и брусит. В прожилковых выделениях отмечены цеолиты, афвиллит, булфонтейнит и другие редко встречаемые новообразования.

Петрохимические и геохимические особенности кимберлитов существенно различны на сравняемых древних платформах, что во многом определяется составом вмещающих диатремы пород, поставляющих обломочный материал в формировавшиеся диатремовые образования. На Сибирской платформе осадочно-вулканогенные образования верхних частей диатрем имеют высокие содержания CaO и CO_2 за счёт значительно объёма обломков вмещающих карбонатных и терригенно-карбонатных пород, что приводит к сравнительно пониженной роли TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , ΣFe . В основании раструба и в вертикальном канале трубок, где распространены преимущественно эруптивные брекчии и массивные (порфировые) кимберлиты, постепенно уменьшается роль обломочного материала вмещающих пород, что приводит к уменьшению CaO и CO_2 , а также возрастанию роли SiO_2 , MgO и H_2O^+ . Увеличение с глубиной K_2O в отдельных диатремах концентрации связано с уменьшением в этом направлении степени хлоритизации флогопита. С воздействием на кимберлиты окружающей среды связаны колебания Na_2O , Cl и SO_3 в тех трубках, где вмещающими породами на глубоких горизонтах являются галогенные и гипсоносные толщи. Увеличение на глубоких горизонтах окиси железа вызвано развитием здесь пирроаурита или повышающейся роли амакинита, иногда сильно окисленного.

Главной петрохимической особенностью продуктивных кимберлитов Архангельской алмазносной провинции являются высокие содержания

SiO_2 , Al_2O_3 и низкие TiO_2 , MgO , CaO , K_2O , P_2O_5 . По петрохимическим особенностям они принадлежат к ультраосновным кимберлитам. 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. С увеличением глубины в кимберлитах уменьшается примесь терригенного компонента, что приводит к некоторому снижению SiO_2 и увеличению MgO . Однако и на больших глубинах в автолитовых брекчиях, и в порфировых кимберлитах зафиксировано повышенное количество кремнезёма, что связано с повсеместной сапонизацией компонентов диатрем. Даже автолиты содержат минерала значительно больше (~ 42 %), чем аналогичные образования Сибирской и Южно-Африканской платформ, что обусловлено присутствием отдельных ксенозёрен кварца и развитием сапонита. В геохимическом отношении кимберлиты Архангельской алмазносной провинции отличаются от аналогичных пород других регионов низким содержанием некогерентных элементов (Ti , P , Rb , Sr , Zr и др.), концентрация которых существенно понижается в кратерных образованиях.

Химический состав кимберлитов Южно-Африканской платформы считается эталонным, поскольку порода получила своё название по образованиям вблизи г. Кимберли. Исследователи обычно разделяют на две группы кимберлиты этой платформы, различающиеся между собой по содержанию K_2O , TiO_2 , P_2O_5 и изотопному составу. 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 (Мвадуи), имеют высокое содержание SiO_2 и Al_2O_3 . В случае обогащённости кратера трапповым материалом (Орапа) повышается роль SiO_2 , Na_2O и CaO . Очень малое количество в кимберлитах карбонатной составляющей делает их менее обогащёнными (по сравнению с СП) CaO и CO_2 .

Лампроиты (наряду с кимберлитами) отнесены [7–10, 31–34, 39–41] к глубинным магматическим породам и наиболее детально описаны в Западной Австралии (рис. 5). На территории Сибирской платформы аналогичные породы описаны в различных частях древних кристаллических

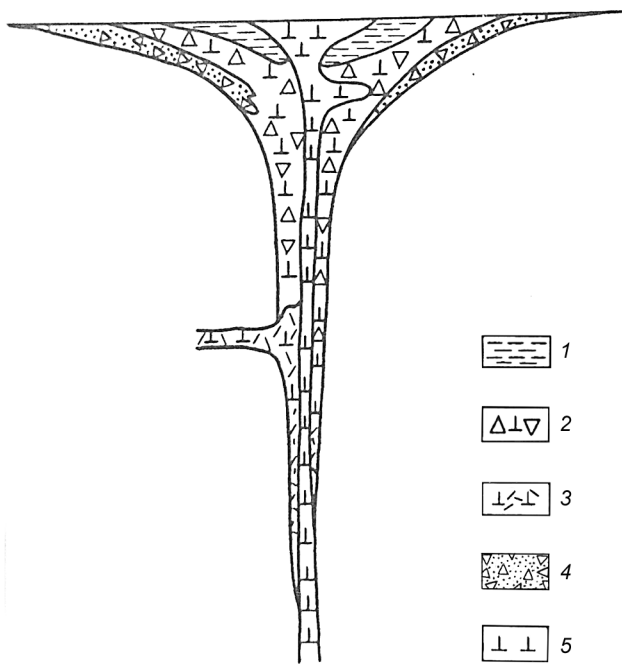


Рис. 5. Модель лампроитовой трубки Австралии. По [39]: туфы: 1 – переотложенный слоистый; 2–3 – «непесчаный» лампроитовый; 4 – «песчаный»; 5 – магматический лампроит

щитов (Анабарского и Алданского), однако полная аналогия по составу и условиям локализации их с австралийскими не отмечена. В лампроитах (как и в кимберлитах) обнаружены промышленные скопления алмазов, а в настоящее время лампроитовое месторождение Аргайл даёт около 40 % мировой добычи этого драгоценного камня. За последние несколько десятков лет в Западной Австралии была открыта крупная алмазоносная лампроитовая провинция, включающая четыре района локализации лампроитов (иногда вместе с кимберлитами). Три района этой провинции расположены в краевой зоне кратона Кимберли или в пределах двух древних консолидированных в протерозое подвижных поясов (Холс-Крик и Кинг-Леополд), обрамляющих кратон с юго-востока и юго-запада; четвёртый район находится значительно южнее. Лампроитовая трубка Аргайл представляет собой дайкоподобное тело длиной 2 км и шириной от 150 до 500 м, занимающее площадь 50 га и ориентированное в северо-восточном направлении. На контакте трубки с вме-

щающими породами расположена зона глыбовой брекчии, цементом которой служит богатый кварцем лапиллиево-туфовый материал. В пределах верхних горизонтов трубки выделяются две разновидности туфов – песчаные и непесчаные. Первые составляют большую часть диатремы, а вторые локализуются в пределах северо-восточного расширения, образуя чашеподобное тело мощностью до 200 м при размерах на поверхности 200×100 м. В завершающую стадию формирования трубки песчаные туфы были прорваны дайками оливин-флогопитовых лампроитов, которые местами переходят в лавовые потоки. Обычно дайки имеют мощность меньше одного метра и небольшую протяжённость. Лампроиты даек сложены фенокристаллами изменённого оливина, находящегося в мелкозернистой флогопитовой основной массе, содержащей также изменённые зёрна оливина II генерации, тетраферрифлогопит, титанистый магнезиохромит, апатит, прайдерит, тальк, серпентин и карбонаты. Главным породообразующим минералом трубки Аргайл является оливин, образующий две совокупности: более крупные (от 2 до 5 мм) ксеноморфные зёрна с резорбированными и изрезанными краями и мелкие (< 1 мм) зёрна, имеющие гипидиоморфную и идиоморфную форму. Флогопит входит в состав ювенильных обломков и основной массы лампроитов. Наиболее крупные выделения минерала зональны: бледно-оранжевое ядро окружено красновато-коричневой богатой железом и титаном каёмкой. В подавляющем большинстве ювенильных обломков флогопит образует мелкие чешуйки, обычно окружающие псевдоморфозы по оливину. По химическому составу флогопит трубки Аргайл принадлежит к высокотитанистой и низкоалюминиевой разновидности с некоторым увеличением (до 14 %) содержания FeO. Хромшпинелид в лампроитах трубки Аргайл образует две генетические группы: ксенозёрна – продукт дезинтеграции пород верхней мантии и микрозёрна основной массы. Пироп, клинопироксен (хромдиопсид) и ортопироксен – довольно редкие для лампроитов минералы. Ультракалийная природа пород трубки Аргайл подтверждается высокими значениями K_2O/Na_2O (обычно > 25) и K_2O/Al_2O_3 . Выветрелым и окисленным образцам свойственны низкие значения отношений K_2O/Na_2O , а для песчаных туфов последние отношения достигают очень высоких значений. Качество алмазов из лампроитов опи-

сываемой трубки низкое: к ювелирным камням высокого качества относятся лишь 5 %, к ювелирным низкого качества – 40 %, остальные – к техническим сортам. Преобладают алмазы округло-додекаэдрической формы. Изотопный анализ алмазов с включениями других минералов показал, что большинство значений $\delta^{13}\text{C}$ для алмазов эклогитового типа парагенезиса попадает в аномально облегчённую область вне зависимости от типов лампроитовых туфов, из которых извлечены алмазы.

На основании проведённых комплексных исследований [38–41] выделена *кимберлит-лампроитовая группа*, к которой из промышленно алмазоносных магматитов отнесена порода единственной в Индии трубки Маджгаван. Указанная диатрема является одной из немногих «древних» трубок мира, докембрийский (940 млн лет) возраст которой доказан Sm-Nd и K-Ar изотопией. Трубчатое тело Маджгаван имеет в плане грушевидную форму. Она сверху перекрыта толщей (4–30 м) аллювиальных образований. Диатрема прорывает докембрийские кварциты и песчаники Каймур. В верхней части залегают сильно выветрелые рыхлые комковатые глинистые образования кремового и бурого цвета, участками пронизанные многочисленными тонкими (0,5–20 мм) прожилками молочно-белого кальцита. В составе выветрелой породы преобладают кальцит, монтмориллонит, кварц и в различной степени изменённые слюдистые выделения. Ниже сильно выветрелой толщи КВ залегает неизменённая порода тёмно-серого с зелёным оттенком цвета, порфировой структуры. Ксенолиты вмещающих пород в ней встречаются редко, среди них преобладают кварциты, роговики и чёрные фосфоровидные сланцы. Характерными особенностями диатремы являются её относительно простое строение и доминирование в ней пород одной фазы внедрения. Порода этой диатремы отличается от типичных кимберлитов повышенным количеством в основной массе флогопита, апатита и анатаза, низким содержанием ксенозёрен пироба, пикроильменита и хромита. По сравнению с лампроитами такие образования характеризуются пониженным содержанием калия, а также отсутствием в основной массе клинопироксена и К-амфибола. В этих породах пока не найдены такие редкие минералы, как прайдерит и вэйдит. Отличительным признаком породы трубки Маджгаван является почти полное отсутствие в слабо изменённых породах

карбонатной составляющей, как правило, характерной для кимберлитов других платформ мира. Небольшая примесь вторичного карбоната отмечена только в верхней части диатремы, изменённой гипергенными процессами. В классических лампроитах Австралии алмазоносными являются в основном магнезиальные разности этих пород, не содержащие лейцита. Алмазы диатремы представлены додекаэдроидом коричневой окраски разной интенсивности с тонкой шагренью и полосами пластической деформации, придающими кристаллам шелковистый блеск. На поверхности многих кристаллов развиты глубокие шрамы. В большинстве кристаллов наблюдались лейсты и розетки тёмных включений, представленных графитом и сульфидами. Результаты исследования кристаллических включений, изотопного состава углерода и некоторых физических свойств алмазов свидетельствуют [29–34] о преимущественном распространении ультраосновного парагенезиса этого минерала, являющегося типичным для большинства алмазов их кимберлитов.

В середине 1960-х гг. А. А. Заячковским и Ю. А. Полкановым были опубликованы сведения об открытии нового генетического типа микроалмазов в месторождении Кумдыколь, приуроченного к кристаллическим породам *метаморфического комплекса*, локализованного в пределах Кокчетавской глыбы Северного Кавказа. Генезис этих алмазов в метаморфогенных породах до сих пор остаётся дискуссионным [38–40]. Одна группа исследователей [15, 31, 43], опираясь на морфологическое сходство между микроалмазами Кумдыкольского месторождения и алмазами кимберлитов [14–17, 27, 38], а также на находки микровключений коэсита в цирконах и на другие признаки, считают, что кристаллизация алмазов здесь происходила в условиях верхней мантии при *PT* параметрах его стабильности. В результате субдукции блоки пород земной коры были перемещены в верхнюю мантию на глубину порядка 150 км, где осуществлялась кристаллизация микроалмазов. Затем при эксгумации участки мантийных пород были перемещены в земную кору, где они подверглись метаморфизму и более позднему метасоматозу. Относя алмазы кристаллических пород Казахстана к мантийным образованиям, исследователи [29, 37, 44] считают их источниками перидотитовые и эклогитовые магмы, породы которых позднее (после кристаллизации) были преобразованы метасоматическими

процессами. В этом отношении кокчетавские алмазы следует относить [39] к мантийной группе. Альтернативной мантийной гипотезой другая группа исследователей обосновывает [5, 41] механизм корового происхождения алмазов метаморфических пород Кокчетава. По их мнению, кристаллизация алмазов происходила в метастабильных условиях в процессе метасоматоза кристаллических пород зерендинской серии. Некоторые исследователи считают, что кристаллизация алмазов осуществлялась в зонах контакта метаморфических углеродсодержащих пород с интрузиями, где допускается возникновение ультравысоких давлений, соответствующих *PT* условиям равновесия роста алмаза. При таком решении проблемы метаморфические алмазы следует считать коровыми.

В последнее время отдельными исследователями на основе анализа геологических, петрографических, кристаллографических и геохимических данных по алмазоносным породам месторождения Кумдыколь в Северном Казахстане утверждается его импактно-космогенно-метасоматический генезис. В отдельных публикациях постоянно появляются данные о находках алмазов в различных типах изверженных пород – базальтах, пикритах, ультрабазитах и др. Хотя часть этих сведений требует дополнительной проверки, следует уделить пристальное внимание отдельным находкам таких мелких алмазов на некоторых древних кристаллических щитах и в первую очередь на Украинском кристаллическом щите (УКЩ), где подобные кристаллы описаны на многих перспективных территориях.

В 1972 г. В. Л. Масайтис и М. А. Гневушев опубликовали сведения об обнаружении *промышленных скоплений алмазов в импактитах*, сформировавшихся в результате удара космических тел о поверхность Земли, с образованием ударно-метаморфогенного типа месторождений. В настоящее время импактные алмазы установлены во многих метеоритных кратерах (астроблемах) России и зарубежных стран. На Сибирской платформе ярким представителем таких алмазов, относимых по классификации Ю. Л. Орлова к XI разновидности [36], является Попигайская астроблема [30, 42, 44]. К этой разновидности относятся поликристаллические и синтетические алмазы, содержащие в структуре три известные модификации углерода: алмаз, лонсдейлит и графит. Поскольку условия их образования являются следствием

динамических нагрузок, сопровождающихся соответствующим разогревом, эти поликристаллические алмазы характеризуются [2–4, 37] определёнными структурными признаками, связанными с условиями их роста и присутствием лонсдейлита. Иногда эти лонсдейлитсодержащие поликристаллические алмазы ещё называются ориентированными карбонадо, чем подчеркиваются как небольшие размеры слагающих кристаллитов, так и сочетание в их структуре углеродных фаз, сопровождающихся присутствием определённых выделенных направлений – осей структуры, вокруг которых формируются кристаллиты в приблизительно параллельной ориентации. В природе алмазы XI разновидности встречаются в метеоритных кратерах и метеоритах, где они представляют собой очень мелкие и поликристаллические образования средним размером ~ 0,1 мм. В некоторых россыпях северо-востока Сибирской платформы обнаружены более крупные поликристаллы размером свыше одного миллиметра, названные якутитом. Аналогичные поликристаллические агрегаты были встречены в аллювиальных отложениях УКЩ, но их коренные источники пока не установлены. Эти образования, как правило, характерны для аллювиальных отложений современного и позднечетвертичного возраста Анабарского алмазоносного района Сибирской платформы. Сделан важный вывод о близости таких алмазов к импактным алмазам Попигайской структуры, а также об их отличии от типичных бразильских карбонадо. В ассоциации с якутитом отмечены лимонит, сидерит, альмандин, ильменит, пироксены, циркон, дистен и рутил, а также округлые алмазы уральского (бразильского) типа, графитизированные сростки ряда октаэдр–ромбододекаэдр V разновидности и додекаэдры VII разновидности [1, 30, 44].

Таким образом, проведёнными исследованиями отмечено, что между типичными кимберлитами и лампроитами существуют постепенные переходы, хотя промежуточные разновидности этих пород встречаются сравнительно редко. Эрозионный срез кимберлитовых и лампроитовых тел определяется прежде всего историей развития территории их локализации. Несмотря на то, что более древние диатремы протерозойского возраста (Премьер и Аргайл) эродированы более интенсивно, чем относительно молодые, прямой связи между возрастом трубки и масштабами её эрозии нет. Это наглядно иллюстрируется на

примере целого ряда трубок многих регионов. Так, молодые (~ 90 млн лет) кимберлитовые породы Капваальского кратона эродированы более чем на 1000 м, в то время как трубка Мвадуи, возраст которой определён в 189,3 млн лет, фактически не подверглась эрозии.

Подтверждены сделанные ранее (в том числе и нами) закономерности распределения глубинных нодулей пород: 1) концентрация глубинных ксенолитов возрастает в кимберлитах более поздних фаз внедрения и 2) с глубиной содержание нодулей пород мантии в одних трубках возрастает (Мир), в других убывает (Удачная). Установлена зависимость содержания ИМК от формы кимберлитовых тел (независимо от места отбора в вертикальном разрезе). В подавляющем большинстве дайковых тел этих первичных минералов больше, чем в трубчатых; больше и размеры их в дайках, а также повышена роль пикроильменита и малохромистых пиропов. Эти общие закономерности проявлены в кимберлитах как Сибирской платформы, так и Лесото.

Анализируя распределение геолого-генетических типов кимберлитов в вертикальном разрезе диатрем, можно сделать следующие выводы:

1. С глубиной происходит сужение трубчатых тел и постепенный переход их в дайковые – подводящие каналы.

2. При перемещении кимберлитовой расплава (флюида) через труднопреодолимые породы, происходит изменение морфологии тел.

3. С глубиной кимберлиты постепенно «очищаются» от примеси терригенно-карбонатного материала и, наоборот, увеличивается роль ксенолитов глубинных пород.

4. Масштабы вторичных изменений кимберлитов с глубиной диатрем постепенно уменьшаются и снижается влияние на них гипергенных процессов, хотя интенсивность постмагматических изменений и на глубинах (особенно небольших по размерам диатрем) достаточно велико.

5. Чётко выраженных (направленных) изменений петрохимических параметров кимберлитов не выявлено, а отмеченные преобразования обусловлены неравномерным распределением в вертикальном разрезе трубок загрязнённого материала вмещающих пород.

6. Алмазоносность кимберлитовых тел, морфология и физические свойства алмазов одних и тех же фаз внедрения до перехода в подводящий канал существенно не меняются.

Наиболее интенсивное вторичное минералообразование отмечено в районах влияния на кимберлиты высокоминерализованных растворов и сероводорода, приведшее к широкому развитию в ряде центральных алмазоносных районов Сибирской платформы галита, екатеринита, ферросейбеллита и датолита. На уровне соленосных горизонтов широко развиты амакинит и пиронаурит, а вторичная переработка кимберлитов здесь особенно интенсивна, причём масштабы её проявления не уменьшаются до глубины одного километра и более. Упомянутая минерализация не отмечена в алмазоносных районах, где на глубинах нет влияния высокоминерализованных растворов и сероводорода.

Алмазоносность самых верхних частей диатрем (где они сохранились), выполненных осадочно-вулканогенными образованиями, в 2–3 раза (в Анголе даже в 6–30 раз) ниже, чем более глубоких частей. В залегающих ниже породах раструба, представленных кимберлитовыми туфами и эруптивными кимберлитовыми брекчиями, содержание алмазов повышено и зависит от общего количества терригенного материала. В контактовых зонах диатрем концентрации алмазов обычно понижены. По мере снижения доли терригенной примеси возрастает количество алмазов, достигая максимума в автолитовых брекчиях. Последние чаще всего приурочены к центральным 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 трубках не выявлено, за исключением того, что в кратерных фациях размер алмазов минимальный, а количество обломков кристаллов максимально. Среди коренных месторождений алмазов Южно-Африканской платформы доминируют алмазы с включениями эклогитового компонента. Существенную роль играют также алмазы из ультрабазитов, среди которых встречаются зёрна алмазной ассоциации.

Из трёх основных типов пород, выполняющих лампроитовые диатремы, наиболее высокой алмазоносностью характеризуются песчаные туфы, наиболее низкой – магматические лампроиты заключительной фазы вулканизма. Непесчаные туфы занимают промежуточное положение. Низкая алмазоносность магматического лампроита

заклучительной фазы может быть обусловлена окислением алмазов под воздействием температуры лампроитового расплава в условиях земной коры при низком давлении и высоком потенциале кислорода. Распределение алмазов в плане и на глубину трубок лампроитов зависит от объёма и местоположения каждого из выделенных трёх типов пород. Поскольку песчаные туфы располагаются обычно в верхних частях диатрем и слагают приконтактные зоны, есть основание предполагать, что на глубоких горизонтах трубок лампроитов количество алмазов может снижаться. Качество алмазов из лампроитовых диатрем связано обратной зависимостью с их концентрациями в конкретных трубках.

Изучение вещественного состава алмазоносных пород трубки Маджгаван (Индия) показало, что эти образования по ряду признаков существенно отличаются от типичных кимберлитов. Наиболее важными из них являются: практически полное отсутствие CaO и CO_2 , высокое содержание TiO_2 и P_2O_5 , присутствие высокотитанистого флогопита и низкое содержание ИМК – пироба, хромита, особенно пикроильменита. По этим показателям порода трубки Маджгаван близка к алмазоносным лампроитам Австралии (прежде всего к оливиновым лампроитам). Однако породы исследуемой трубки отличаются от лампроитов тем, что в ней содержится относительно мало K_2O (0,46–1,79 %), не обнаружены клинопироксены, калиевый рихтерит и некоторые другие минералы в основной массе породы, характерные для лампроитов. Порода трубки Маджгаван занимает как бы промежуточное положение между кимберлитами и лампроитами (кимберлит-лампроиты), что следует учитывать при систематике алмазоносных пород платформенных областей.

Несмотря на то, что якутиты из аллювиальных отложений северо-востока Сибирской платформы имеют аналогичный облик с ударно-метаморфическими кристаллами Попигайской астроблемы, конкретные источники их, судя по изотопному составу углерода и некоторым особенностям морфологии и структуры, могут быть индивидуальными. Не исключена также множественность первоисточников якутитов, встречающихся в аллювиальных отложениях северо-востока Сибирской платформы. Учитывая особенности генезиса якутитов, возникает проблема поисков астроблем и других некимберлитовых источников, с которыми могут быть связаны богатые ме-

сторождения таких алмазов. При поисковых работах необходимо проводить тщательный анализ геолого-геофизических материалов в районах находок этих алмазов в россыпях, обращая особое внимание на кольцевые структуры, с которыми могут быть связаны взрывные метеорные кратеры, на геологические образования, несущие углерод, который мог быть использован для кристаллизации алмазов (графит, уголь, битумы и др.).

Многообразие разновидностей алмаза в коренных месторождениях находит объяснение с позиций полигенеза и типоморфизма этого минерала, его происхождения в ультраосновных породах различного возраста, генезиса и дезинтеграции при внедрении магматических образований. Полигенез и типоморфизм алмаза различного происхождения вполне очевидны и объясняются с точки зрения его генетической связи с различными по составу мантийными, коровыми и метасоматическими породами. Эпигенетические процессы при катаклазе этих пород подвергают пластической деформации и механическому дроблению содержащиеся в них алмазы, большинство из которых выносятся магматическими расплавами в виде освобождённых кристаллов или в ксенолитах глубинных пород. Ультраосновная магма обогащена CO_2 и другими активными по алмазу компонентами, которые вызывают медленное окислительное растворение алмазов на глубине в условиях высоких температур. В этом процессе первичные формы роста преобразуются, и на поверхностях граней появляются фигуры травления, а также происходит образование кривогранных поверхностей с характерными скульптурами. Нередко процесс растворения вызывает существенное преобразование форм роста, приводящее к развитию типичных кривогранных форм растворения алмаза – ромбододекаэдров и додекаэдров по октаэдрам, тетрагексаэдров и додекаэдров по кубам. Разнообразие характера алмазов в каждом геолого-генетическом типе и отличие их при сравнении разных месторождений обуславливается особенностями количественного соотношения разновидностей кристаллов и поликристаллических образований и неодинаковой степенью воздействия на них эпигенетических процессов. Последние могут происходить и в приповерхностных частях тел, содержащих алмазы, в условиях повышенной фугитивности

кислорода и в присутствии воды в процессе ав-
тометаморфизма и метасоматоза пород при их

серпентинизации с выделением магнетита, вызы-
вающего образование каверн на кристаллах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П., Елисеев А. П., Надолинный В. А., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Рылов Г. М., Томиленко А. А., Горяйнов С. В., Юрьева О. П., Со-
нин В. М., Чепуров А. И. Минералогия и некото-
рые вопросы генезиса алмазов V и VII разновид-
ностей (по классификации Ю. Л. Орлова) // Вест-
ник Воронежского госуниверситета. Геология. –
2000. – № 5. – С. 79–97.
2. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Минерагения древ-
них россыпей алмазов восточного борта Тунгус-
ской синеклизы // Геология и геофизика. – 1987. –
№ 1. – С. 90–96.
3. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Основные литодина-
мические типы ореолов индикаторных минералов
кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41,
№ 3. – С. 281–288.
4. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Харькив А. Д., Со-
колов В. Н. Закономерности изменения мантий-
ных минералов в коре выветривания кимберли-
товых пород // Минерагения зоны гипергенеза. –
М.: ИГЕМ АН СССР, 1980. – С. 45–54.
5. Ваганов В. И. Алмазные месторождения России и
Мира (основы прогнозирования). – М.: Геоинфор-
марк, 2000. – 371 с.
6. Горшков А. И., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д. [и
др.] Новый упорядоченный смешанослойный ми-
нерал лизардит-сапонит из кимберлитов Южной
Африки // Доклады РАН. – 2002. – Т. 382, № 3. –
С. 374–378.
7. Зинчук Н. Н. Сравнительная характеристика веще-
ственного состава коры выветривания кимберли-
товых пород Сибирской и Восточно-Европейской
платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. –
С. 99–109.
8. Зинчук Н. Н. Основные черты гипергенного изме-
нения пород различного состава // Вестник Перм-
ского университета. Геология. – 2014. – № 3 (24). –
С. 19–29.
9. Зинчук Н. Н. Особенности алмазоносности разных
фаз внедрения кимберлитов // Отечественная гео-
логия. – 2017. – № 1. – С. 105–111.
10. Зинчук Н. Н. Типоморфные свойства индикатор-
ных минералов кимберлитов и их использование
при прогнозировании месторождений алмаза на
Сибирской платформе // Отечественная геология. –
2021. – № 2. – С. 41–56.
11. Зинчук Н. Н. Геологические исследования при по-
исках алмазных месторождений // Вестник Воро-
нежского университета. Геология. – 2021. – № 4. –
С. 35–52.
12. Зинчук Н. Н. Роль петролого-минералогических
и геохимических исследований в оценке потен-
циальной алмазоносности кимберлитов // Отече-
ственная геология. – 2022. – № 1. – С. 36–47.
13. Зинчук Н. Н. Особенности петрографического из-
учения кимберлитовых пород // Отечественная
геология. – 2022. – № 4. – С. 34–49.
14. Зинчук Н. Н. Особенности гидротермального и
гипергенного изменения слюдястых кимберли-
тов // Вестник Пермского университета. Геоло-
гия. – 2023. – Т. 22, № 1. – С. 32–50.
15. Зинчук Н. Н. О геолого-поисковых типах кимбер-
литовых трубок // Известия Коми НЦ УрО РАН.
Науки о Земле. – 2023. – № 2 (60). – С. 43–56.
16. Зинчук Н. Н. Литолого-минералогические иссле-
дования при поисках месторождений алмазов // Проблемы минералогии, петрографии и метал-
логении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвин-
ского. – Вып. 28. – Пермь: ПГНИУ, 2025. –
С. 17–48.
17. Зинчук Н. Н. Методические основы использования
нетрадиционных индикаторных минералов ким-
берлитов при шлихо-минералогических поисках
месторождений алмазов // Отечественная геоло-
гия. – 2025. – № 6. – С. 68–87.
18. Зинчук Н. Н., Афанасьев В. П. Генетические типы
и основные закономерности формирования алма-
зоносных россыпей // Известия высших учебных
заведений. Геология и разведка. – 1998. – № 2. –
С. 66–71.
19. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. О специфике изуче-
ния алмаза при прогнозно-поисковых работах (на
примере Сибирской платформы) // Руды и метал-
лы. – 2021. – № 3. – С. 59–75.
20. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. Алмазы из низко-
продуктивных кимберлитов // Руды и металлы. –
2022. – № 1. – С. 77–93.
21. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. Алмазы из полупро-
мышленных кимберлитов // Вестник Воронежского
университета. Геология. – 2022. – № 2. – С. 32–45.
22. Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н. О некоторых веще-
ственных особенностях продуктивности кимбер-

- литовых пород // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. – Вып. 28. – Пермь : ПГНИУ, 2025. – С. 49–69.
23. Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н., Котельников Д. Д., Шлыков В. Г., Жухлистов А. П. Структурно-кристаллохимические преобразования слоистых минералов на разных стадиях гипергенного изменения кимберлитов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2002. – № 1. – С. 47–60.
 24. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Липашова А. Н. Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // Руды и металлы. – 1999. – № 3. – С. 18–31.
 25. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Горшков А. И. Идентификация и генезис лизардит-сапонитового смешанослойного образования в кимберлитах одной из трубок Южной Африки // Литология и полезные ископаемые. – 2003. – № 1. – С. 87–96.
 26. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Соколов В. Н. Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
 27. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т. Тектоника и алмазоносный магматизм. – Воронеж : ВГУ, 2004. – 282 с.
 28. Зуев В. М., Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Маккенда А. Слабоэродированные кимберлитовые трубки Анголы // Геология и геофизика. – 1988. – № 3. – С. 56–62.
 29. Игнатов П. А., Бушков К. Ю., Штейн Я. И. [и др.] Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы. – 2006. – № 4. – С. 59–67.
 30. Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений : специальность 04.00.20 «Минералогия, кристаллография» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Василий Иванович Коптиль. – Новосибирск : ИГМ СО РАН, 1994. – 25 с.
 31. Котельников Д. Д., Домбровская Ж. В., Зинчук Н. Н. Основные закономерности выветривания силикатных пород различного химического и минералогического типа // Литология и полезные ископаемые. – 1995. – № 6. – С. 594–601.
 32. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Геологическая интерпретация результатов изучения глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2001. – № 12. – С. 45–51.
 33. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 1. – С. 45–53.
 34. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
 35. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н., Кузьмин В. А. Морфогенетические разновидности каолинита в корях выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корях выветривания различных петрохимических типов пород // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2006. – № 5. – С. 19–25.
 36. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. – М. : Наука, 1984. – 264 с.
 37. Савко А. Д., Зинчук Н. Н., Шевырёв Л. Т. [и др.] Алмазоносность Воронежской антеклизы // Труды НИИГ Воронежского университета. – 2003. – Т. 17. – 121 с.
 38. Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зуев В. М. Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. – М. : Недра, 2001. – 198 с.
 39. Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М. : Недра, 1998. – 555 с.
 40. Харькив А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н., Крючков А. И., Уханов А. В., Богатых М. М. Петрохимия кимберлитов. – М. : Недра, 1991. – 304 с.
 41. Харькив А. Д., Квасница В. Н., Сафронов А. Ф., Зинчук Н. Н. Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов. – Киев : Наукова думка, 1989. – 183 с.
 42. Afanasev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L. [et al.] Diamond prospects in the Southwestern plunk of the Tungusk Sineklise // Geology of ore Deposits. – 2005. – V. 47, № 1. – P. 45–62.
 43. Clifford T. N. A structural framework of Africa // African Magmatism and tectonics. – Endinburgh : Oliwer and Boyd, 1970. – P. 1–26.
 44. Rosen O. M., Serenko V. P., Spetsius Z. V. [et al.] Yakutian kimberlite province: Position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. – 2002. – V. 43, № 1. – P. 3–26.

REFERENCES

1. Afanasyev V. P., Eliseev A. P., Nadolinny V. A., Zinchuk N. N., Koptil V. I., Rylov G. M., Tomilenko A. A., Goryainov S. V., Yuryeva O. P., Sonin V. M., Chepurov A. I. Mineralogiya i nekotoryye voprosy genezisaalmazov V i VII raznovidnostey (po klassifikatsii Yu. L. Orlova) [Mineralogy and some questions of the genesis of diamonds of types V and VII (according to the classification of Yu. L. Orlov)], Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya, 2000, No. 5, pp. 79–97. (In Russ.)
2. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N. Minerageniya drevnikh rossypeyalmazov vostochnogo borta Tunguskoysineklizy [Minerageny of ancient diamond placers on the eastern side of the Tunguska syncline], Geology and geophysics, 1987, No. 1, pp. 90–96. (In Russ.)
3. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N. Osnovnyye litodinamicheskiye tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [Main lithodynamic types of halos of indicator minerals in kimberlites and their formation environments], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1999, V. 41, No. 3, pp. 281–288. (In Russ.)
4. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Kharkiv A. D., Sokolov V. N. Zakonomernosti izmeneniya mantiynykh mineralov v kore vyvetrivaniya kimberlitovykh porod [Regularities of changes in mantle minerals in the weathering crust of kimberlite rocks], Minerageniya zony gipergeneza, Moscow, IGEM AN SSSR publ., 1980, pp. 45–54. (In Russ.)
5. Vaganov V. I. Almaznyye mestorozhdeniya Rossii i Mira (osnovy prognozirovaniya) [Diamond deposits of Russia and the World (forecasting principles)], Moscow, Geoinformark publ., 371 p. (In Russ.)
6. Gorshkov A. I., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D. [et al.] Novyy uporyadochennyy smeshanosloynny mineral lizardit-saponit iz kimberlitov Yuzhnoy Afriki [New ordered mixed-layer mineral lizardite-saponite from kimberlites of South Africa], Doklady RAN, 2002, V. 382, No. 3, pp. 374–378. (In Russ.)
7. Zinchuk N. N. Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoy i Vostochno-Yevropeyskoy platform [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms], Geologiya i geofizika, 1992, No. 7, pp. 99–109. (In Russ.)
8. Zinchuk N. N. Osnovnyye cherty gipergennogo izmeneniya porod razlichnogo sostava porod razlichnogo soctava [Main features of hypergene alteration of rocks of different composition], Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2014, No. 3 (24), pp. 19–29. (In Russ.)
9. Zinchuk N. N. Osobennosti almazonosnosti raznykh faz vnedreniya kimberlitov [Features of diamond-bearing capacity of different phases of kimberlite intrusion], Otechestvennaya geologiya, 2017, No. 1, pp. 105–111. (In Russ.)
10. Zinchuk N. N. Tipomorfnyye svoystva indikatornykh mineralov kimberlitov i ikh ispolzovaniye pri prognozirovanii mestorozhdeniy almaza na Sibirskoy platforme [Typomorphic properties of indicator minerals of kimberlites and their use in predicting diamond deposits on the Siberian platform], Otechestvennaya geologiya, 2021, No. 2, pp. 41–56. (In Russ.)
11. Zinchuk N. N. Geologicheskiye issledovaniya pri poiskakh almaznykh mestorozhdeniy [Geological research in the search for diamond deposits], Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya, 2021, No. 4, pp. 35–52. (In Russ.)
12. Zinchuk N. N. Rol petrologo-mineralogicheskikh i geokhimicheskikh issledovaniy v otsenke potentsialnoy almazonosnosti kimberlitov [The role of petrological-mineralogical and geochemical studies in assessing the potential diamond content of kimberlites], Otechestvennaya geologiya, 2022, No. 1, pp. 36–47. (In Russ.)
13. Zinchuk N. N. Osobennosti petrograficheskogo izucheniya kimberlitovykh porod [Features of petrographic study of kimberlite rocks], Otechestvennaya geologiya Otechestvennaya geologiya, 2022, No. 4, pp. 34–49. (In Russ.)
14. Zinchuk N. N. Osobennosti gidrotermalnogo i gipergennogo izmeneniya slyudistyykh kimberlitov [Features of hydrothermal and supergene alteration of mica kimberlites], Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2023, V. 22, No. 1, pp. 32–50. (In Russ.)
15. Zinchuk N. N. O geologo-poiskovykh tipakh kimberlitovykh trubok [On geological exploration types of kimberlite pipes], Izvestiya Komi NTS UrO RAN. Nauki o Zemle, 2023, No. 2 (60), pp. 43–56. (In Russ.)
16. Zinchuk N. N. Litologo-mineralogicheskiye issledovaniya pri poiskakh mestorozhdeniyalmazov [Lithological and mineralogical studies in the search for diamond deposits], Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnyye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo, Is. 28, Perm, PGNIU publ., 2025, pp. 17–48. (In Russ.)
17. Zinchuk N. N. Metodicheskiye osnovy ispol'zovaniya netraditsionnykh indikatornykh mineralov kimberlitov pri shlikho-mineralogicheskikh poiskakh mestorozhdeniyalmazov [Methodological principles of using non-traditional indicator minerals of kimberlites in panning and mineralogical prospecting for diamond deposits], Otechestvennaya geologiya, 2025, No. 6, pp. 68–87. (In Russ.)
18. Zinchuk N. N., Afanasyev V. P. Geneticheskiye tipy i osnovnyye zakonomernosti formirovaniya almazonosnykh rossypey [Genetic types and basic patterns

- of formation of diamond-bearing placers], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 1998, No. 2, pp. 66–71. (In Russ.)
19. Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D. O spetsifike izucheniya almaza pri prognozno-poiskovykh rabotakh (na primere Sibirskoy platformy) [On the specifics of studying diamond during forecasting and prospecting work (using the example of the Siberian platform)], *Rudy i metally* [Ores and metals], 2021, No. 3, pp. 59–75. (In Russ.)
 20. Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D. Almazy iz nizko-produktivnykh kimberlitov [Diamonds from low-productivity kimberlites], *Rudy i metally* [Ores and metals], 2022, No. 1, pp. 77–93. (In Russ.)
 21. Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D. Almazy iz polupromyshlennykh kimberlitov [Diamonds from semi-industrial kimberlites], *Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya*, 2022, No. 2, pp. 32–45. (In Russ.)
 22. Zinchuk N. N., Zinchuk M. N. O nekotorykh veshchestvennykh osobennostyakh produktivnosti kimberlitovykh porod [On some material features of the productivity of kimberlite rocks], *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnyye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo*, Is. 28, Perm, PGNIU publ., 2025, pp. 49–69. (In Russ.)
 23. Zinchuk N. N., Zinchuk M. N., Kotelnikov D. D., Shlykov V. G., Zhukhlistov A. P. Strukturno-kristallokhimicheskiye preobrazovaniya sloistyykh mineralov na raznykh stadiyakh gipergennogo izmeneniya kimberlitov [Structural and crystallochemical transformations of layered minerals at different stages of hypergene alteration of kimberlites], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2002, No. 1, pp. 47–60. (In Russ.)
 24. Zinchuk N. N., Koptil V. I., Boris Ye. I., Lipashova A. N. Tipomorfizm almazov iz rossypey Sibirskoy platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as a basis for searching for diamond deposits], *Rudy i metally*, 1999, No. 3, pp. 18–31. (In Russ.)
 25. Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Gorshkov A. I. Identifikatsiya i genezis lizardit-saponitovogo smeshanosloynogo obrazovaniya v kimberlitakh odnoy iz trubok Yuzhnoy Afriki [Identification and genesis of a lizardite-saponite mixed-layer formation in kimberlites of one of the pipes of South Africa], *Litologiya i poleznyye iskopayemye*, 2003, No. 1, pp. 87–96. (In Russ.)
 26. Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Sokolov V. N. Izmeneniye mineralnogo sostava i strukturnykh osobennostey kimberlitov Yakutii v protsesse vyvetrivaniya [Changes in the mineral composition and structural features of Yakutia kimberlites during weathering], *Geologiya i geofizika*, 1982, No. 2, pp. 42–53. (In Russ.)
 27. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. Tektonika i alamazonosnyy magmatizm [Tectonics and diamond-bearing magmatism], Voronezh, VGU publ., 2004, 282 p. (In Russ.)
 28. Zuyev V. M., Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Makken-da A. Slaboerodirovannyye kimberlitovyye trubki Angoly [Slaboerodirovannyye kimberlitovyye trubki Angoly], *Geologiya i geofizika*, 1988, No. 3, pp. 56–62. (In Russ.)
 29. Ignatov P. A., Bushkov K. Yu., Shteyn Ya. I. [et al.] Geologicheskiye i mineralogo-geokhimicheskiye priznaki struktur, kontroliruyushchikh alamazonosnyye kimberlity Nakynskogo polya Yakutii [Geological and mineralogical-geochemical features of structures controlling diamond-bearing kimberlites of the Nakyn field of Yakutia], *Rudy i metally*, 2006, No. 4, pp. 59–67. (In Russ.)
 30. Koptil V. I. Tipomorfizm almazov severo-vostoka Sibirskoy platformy v svyazi s problemoy prognozirovaniya i poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Typomorphism of diamonds of the north-eastern Siberian platform in connection with the problem of forecasting and prospecting for diamond deposits], Novosibirsk, IGM SO RAN publ., 1994, 25 p. (In Russ.)
 31. Kotelnikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N. Osnovnyye zakonomernosti vyvetrivaniya silikatnykh porod razlichnogo khimicheskogo i mineralogicheskogo tipa [Main patterns of weathering of silicate rocks of different chemical and mineralogical types], *Litologiya i poleznyye iskopayemye*, 1995, No. 6, pp. 594–601. (In Russ.)
 32. Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N. Geologicheskaya interpretatsiya rezul'tatov izucheniya glinistyykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoy kory [Geological interpretation of the results of the study of clay minerals in the sedimentary cover of the earth's crust], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya*, 2001, No. 12, pp. 45–51. (In Russ.)
 33. Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N. Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistyykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoy kory [Conditions of accumulation and postsedimentary transformation of clay minerals in the sedimentary cover of the earth's crust], *Byulleten MOIP. Otdel geologicheskoy*, 2001, V. 76, No. 1, pp. 45–53. (In Russ.)
 34. Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N. Ob anomalii obshchey skhemy preobrazovaniya razbukhayushchikh glinistyykh mineralov pri pogruzhении soderzhashchikh ikh otlozheniy v stratisferu [On the anomaly of the general scheme of transformation of swelling clay minerals during the immersion of sediments containing them into the stratisphere], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Seriya geologiya*, 2003, No. 2, pp. 57–68. (In Russ.)

35. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N., Kuzmin V. A.* Morfogeneticheskiye raznovidnosti kaolinita v korakh vyvetrivaniya i osadochnom chekhle zemnoy kory. Statya 1. Mekhanizm obrazovaniya kaolinita v korakh vyvetrivaniya razlichnykh petrokhimicheskikh tipov porod [Morphogenetic varieties of kaolinite in weathering crusts and sedimentary cover of the earths crust. Article 1. Mechanism of kaolinite formation in weathering crusts of various petrochemical rock types], *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka*, 2006, No. 5, pp. 19–25. (In Russ.)
36. *Orlov Yu. L.* Mineralogiya almaza [Mineralogy of diamond], Moscow, Nauka publ., 1984, 264 p. (In Russ.)
37. *Savko A. D., Zinchuk N. N., Shevyrov L. T.* [et al.] Almazonosnost Voronezhskoy anteklizy [Diamond potential of the Voronezh antecline], *Trudy NIIG Voronezhskogo un-ta*, 2003, V. 17, 121 p. (In Russ.)
38. *Serokurov YU. N., Kalmykov V. D., Zuyev V. M.* Kosmicheskiye metody pri prognozirovanii i poiskakh mestorozhdeniyalmazov [Space methods in forecasting and searching for diamond deposits], Moscow, Nedra publ., 2001, 198 p. (In Russ.)
39. *Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I.* Korrennyye mestorozhdeniyaalmazov mira [Primary diamond deposits of the world], Moscow, Nedra publ., 1998, 555 p. (In Russ.)
40. *Kharkiv A. D., Zuyenko V. V., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I., Ukhanov A. V., Bogatykh M. M.* Petrokhi-miya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites], Moscow, Nedra publ., 1991, 304 p. (In Russ.)
41. *Kharkiv A. D., Kvasnitsa V. N., Safronov A. F., Zinchuk N. N.* Tipomorfizm almaza i yego mineralovsputnikov iz kimberlitov [Typomorphism of diamond and its associated minerals from kimberlites], Kyiv, Naukova Dumka publ., 1989, 183 p. (In Russ.)
42. *Afanasev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L.* [et al.] Diamond prospects in the Southwestern plinkt of the Tungusk Sineklise, *Geology of ore Deposits*, 2005, V. 47, No. 1, pp. 45–62.
43. *Clifford T. N.* A structural framework of Africa, African Magmatism and tectonics, Endinburgh, Oliver and Boyd, 1970, pp. 1–26.
44. *Rosen O. M., Serenko V. P., Spetsius Z. V.* [et al.] Yakutian kimberlite province: Position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust, *Geologiya and Geofizika*, 2002, V.43, No. 1, pp. 3–26.

Статья поступила в редакцию 19.06.26; одобрена после рецензирования 08.07.26; принята к публикации 08.07.26.
The article was submitted 19.06.26; approved after reviewing 08.07.26; accepted for publication 08.07.26.