

Алмазы из полупромышленных кимберлитов

©2022 Н. Н. Зинчук[✉], Л. Д. Бардухинов

*Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я),
Чернышевское шоссе, 16, 678170, Мирный, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: На Сибирской платформе (СП), кроме группы промышленных и успешно эксплуатирующихся диатрем, открыты и некоторые кимберлитовые трубки с полупромышленной алмазонасностью. Изменение за последних 20–25 лет конъюнктуры алмазного рынка и проведение дополнительных разведочно-оценочных работ на отдельных трубках (Краснопресненская, Заполярная и Поисковая) позволили перевести некоторые из них в разряд промышленных. Поэтому в настоящей работе мы остановились на характеристике отдельных диатрем СП, отнесенных к трубкам с полупромышленной алмазонасностью.

Методика: В статье приведены результаты комплексного исследования ряда кимберлитовых тел (трубки Дальняя, Иреляхская, Радиоволновая и Малокуонапская) с полупромышленной алмазонасностью, позволившие установить типоморфные особенности алмаза.

Результаты и обсуждение: Трубка *Дальняя* входит в состав самой южной группы тел Далдынского кимберлитового поля (ДКП). Диатрема имеет сложное геологическое строение и представлена двумя разновидностями, отвечающими двум этапам её становления. В первой (интрузивной) возникло штокоподобное тело, сложенное плотным порфировым кимберлитом (ПК). Во второй (эксплозивной) этап образовалась диатрема, выполненная автолитовой кимберлитовой брекчией (АКБ) второй фазы. Трубка *Дальняя* является классическим примером кимберлитовых тел, в которых петрографические разновидности различаются по типоморфным особенностям алмазов. На юго-западном фланге ДКП расположена кимберлитовая трубка *Иреляхская*, имеющая достаточно сложное внутреннее строение вследствие наличия не менее двух фаз внедрения. При резком (до 90%) преобладании в кимберлитах трубки алмазов I разновидности, отличительной особенностью алмазной ассоциации является повышенная роль (по сравнению с другими трубками ДКП) равномерно окрашенных желтых октаэдров II разновидности (IIa) и молочно-белых, реже серых и желтых окрашенных алмазов с оболочкой IV разновидности. Кимберлитовая трубка *Радиоволновая* по величине алмазов относится к диатремам с несколько повышенной крупностью камней при средней массе кристаллов 3.44 мг. Подавляющее большинство алмазов трубки представлено бесцветными, реже эпигенетически окрашенными в дымчато-коричневые цвета I разновидности (свыше 90%) при заметном (до 5%) количестве поликристаллических агрегатов VIII и IX разновидности и несколько меньшим – желто-зелёных кубоидов II и серых кубов III разновидности. Кимберлитовая трубка *Малокуонапская*, расположенная в Куранахском поле на юге Анабарского алмазонасного района, состоит из двух сопряженных между собой рудных стволов (северного и южного), отвечающих двум этапам формирования диатремы и сложенных различными типами кимберлитов. Трубка является единственным на СП месторождением с полупромышленной алмазонасностью среднемезозойского возраста с различными двумя фазами кимберлитового магматизма. По своим типоморфным особенностям алмазы северного и южного стволов заметно различаются.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Зинчук Николай Николаевич, e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

Заключение: Алмазы из полупромышленных диатрем изученных алмазоносных районов СП характеризуются преобладанием кристаллов ромбододекаэдрического габитуса при высоком содержании типичных округлых алмазов, являющихся неблагоприятным фактором алмазоносности. Различия в особенностях алмазов отдельных кимберлитовых тел ниже, чем в пределах алмазоносных районов между собой в целом, что является подтверждением неоднородности строения верхней мантии в различных частях платформы. Преобладание ламинарных кристаллов октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов в трубках периферической части СП (трубка Малокуонапская) указывает на отсутствие горизонтальной зональности в изменении типоморфных особенностей в пределах исследуемой территории.

Ключевые слова: алмазы, алмазоносность, Сибирская платформа, морфология кристаллов, неоднородность верхней мантии.

Для цитирования: Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. Алмазы из полупромышленных кимберлитов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2022. №2. С. 32–45. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.2/9277>

Введение

При комплексном изучении алмазов из кимберлитовых пород Сибирской платформы (СП) [1–20], кроме выделения группы промышленных месторождений, которые успешно многие десятилетия разрабатываются, описаны некоторые кимберлитовые диатремы с полупромышленной алмазоносностью. В четырех кимберлитовых полях СП открыто [21–31] семь кимберлитовых тел, характеризующихся на период завершения двадцатого столетия полупромышленной продуктивностью: трубки Краснопресненская и Радиоволновая (Алакит-Мархинское поле), Дальняя и Иреляхская (Далдынское поле), Заполярная и Поисковая (Верхнемунское поле) и Малокуонапская (Куранахское поле). Большинство перечисленных диатрем приурочено к Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции (ЦСАСП) и только трубка Малокуонапская – к Лено-Анабарской алмазоносной субпровинции (ЛААСП). Преобладающая часть трубок имеют сложное геологическое строение с различием типоморфных особенностей алмазов отдельных рудных столбов [32–37]. Особенно эти различия контрастны для полупромышленных трубок Дальняя, Заполярная и Малокуонапская, что ранее было отмечено только для эксплуатируемых кимберлитовых тел (Айхал, Юбилейная, Комсомольская, Удачная и Мир) с заметным различием алмазоносности отдельных рудных столбов. Изменение за последних 20–25 лет конъюнктуры алмазного рынка и проведенные дополнительные разведочно-оценочные работы на трубках Краснопресненская, Заполярная и Поисковая позволили перевести их в разряд промышленных объектов. Поэтому в этой работе мы остановимся на характеристике остальных диатрем, отнесенных к кимберлитовым трубкам с полупромышленной алмазоносностью. На отдельных временных этапах активное участие в изучении алмазов по исследуемому региону принимал кандидат геол.-минер. наук В. И. Коптиль [2, 3, 11, 16, 21], которому авторы глубоко признательны.

Фактический материал, методология исследований и обсуждение результатов

Кимберлитовая трубка Дальняя расположена на водоразделе рек Далдын и Марха неподалеку от истоков руч. Онхой-Юрэх и входит в состав самой южной группы тел Далдынского кимберлитового поля (ДКП). В плане она имеет форму неправильного овала, вытянутого в восточно-северо-восточном направлении. Трубка вскрыта шурфами, карьером и буровыми скважинами до глубины 400 м, а в последнее время проведен подсчет запасов полезного компонента и до более значительных глубин. В пределах изученной части диатрема прорывается карбонатные породы нижнего ордовика и верхнего кембрия и перекрывается с поверхности слоем аллювиально-делювиальных образований средней мощностью 3.75 м [3, 20]. В вертикальном разрезе рудное тело представляет собой типичную воронку взрыва с хорошо выраженным (до глубины 220–250 м) раструбом. Ниже – это крутопадающее цилиндрической формы тело, закономерно сужающееся с глубиной. В пределах расширенной (кратерной) части контакты трубки падают к центру рудного тела. С глубины 250 м отмечается резкий переход от раструба трубки к её диаметральной части, вследствие чего контуры рудного тела резко сужаются. Ниже 300 м от поверхности трубка характеризуется общим падением её контактов на север под углом 80–85°. Диатрема имеет сложное геологическое строение. Большую её часть (на поверхности около 80% площади) слагают автолитовые кимберлитовые брекчии (АКБ). В северной, центральной и юго-восточной частях диатремы вскрыты три обособленных участка, в пределах которых развиты плотные порфиновые кимберлиты (ПК) массивного строения. Северный и юго-восточный участки ПК причленяются к бортам трубки и прослеживаются вглубь, а центральный участок является обособленным и на глубине 49 м выклинивается. Отмеченные выше две основные разновидности кимберлитовых пород трубки Дальняя отвечают двум этапам её становления. В первый – интрузивный этап возникло [1–5, 17–26] штокоподобное тело, сложенное ПК первой фазы внедрения, во второй – взрывной этап, образовалась диатрема, вы-

полненная АКБ второй фазы. Последовательность формирования трубки хорошо увязывается с характером взаимоотношения пород выделяемых фаз внедрения, установленным в процессе геологоразведочных работ. Наиболее веским свидетельством отнесения ПК к породам более ранней фазы внедрения является наличие в структуре чашеобразного расширения диатремы двух изолированных блоков («плавающих рифов») этих пород, вскрытых разведочными скважинами и расположенных среди кимберлитовых брекчий (КБ). Выделенные разновидности кимберлитов трубки Дальняя отличаются рядом специфических особенностей, по которым они уверенно диагностируются даже при макроскопическом описании. К ним относятся, прежде всего, физические свойства пород, текстурно-структурные признаки и содержание ксеногенного материала [6–10, 20].

Трубка Дальняя является классическим примером кимберлитовых тел, в которых разновидности слагающих их пород различаются по типоморфным особенностям алмазов. Для наиболее богатой разновидности пород диатремы (ПК) характерны кристаллы ромбододекаэдрического габитуса с черепитчатой скульптурой (ассоциация дальнинского типа), отсутствующие в эксплуатируемых месторождениях СП [1–5]. Наличие черепитчатой скульптуры придает алмазам матовый блеск и резко ухудшает визуальную прозрачность камней экспертами из-за невозможности определить их внутреннюю дефектность (трещины и включения). Основная масса изученных алмазов (иногда до 99%) представлена бесцветными, реже

эпигенетически окрашенными в дымчато-коричневые цвета слабой интенсивности кристаллами I разновидности по классификации Ю. Л. Орлова [18] при незначительном (до 1.1%) количестве поликристаллических агрегатов VIII разновидности (рис. 1). По кристалломорфологическим особенностям среди алмазов I разновидности преобладают (рис. 2) кристаллы ромбододекаэдрического габитуса с характерной черепитчатой скульптурой. Их содержание в ПК почти в 1.5 раза выше по сравнению с АКБ. Одновременно в АКБ по сравнению с ПК в 1.5 раза выше суммарное количество кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов при сравнительно высоком (до 18%) содержании бесформенных осколков без признаков кристаллографической огранки и низких количествах типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа (до 4%) и бесцветных кубоидов (0.9–1.5%). Рудные столбы заметно различаются по содержанию двойников и сростков, причем в ПК их количество (23%) почти в 1.5 раза ниже по сравнению с АКБ (33%). Содержание двойников и сростков в ПК трубки Дальняя является наиболее низким по сравнению с таковыми для эксплуатируемых коренных месторождений Далдыно-Алакинского алмазоносного района (ДААР). В трубке преобладают в той или степени прозрачные камни, причем степень прозрачности кристаллов в АКБ несколько выше по сравнению с ПК. Содержание окрашенных индивидов является довольно высоким и составляет около половины всех алмазов. Доминирует дымчато-коричневая окраска



Рис. 1. Фото алмазов из кимберлитов трубки Дальняя (Далдынское поле).

[Fig. 1. Photo of diamonds from kimberlites of the Dalnyaya pipe (Daldynskoye field).]

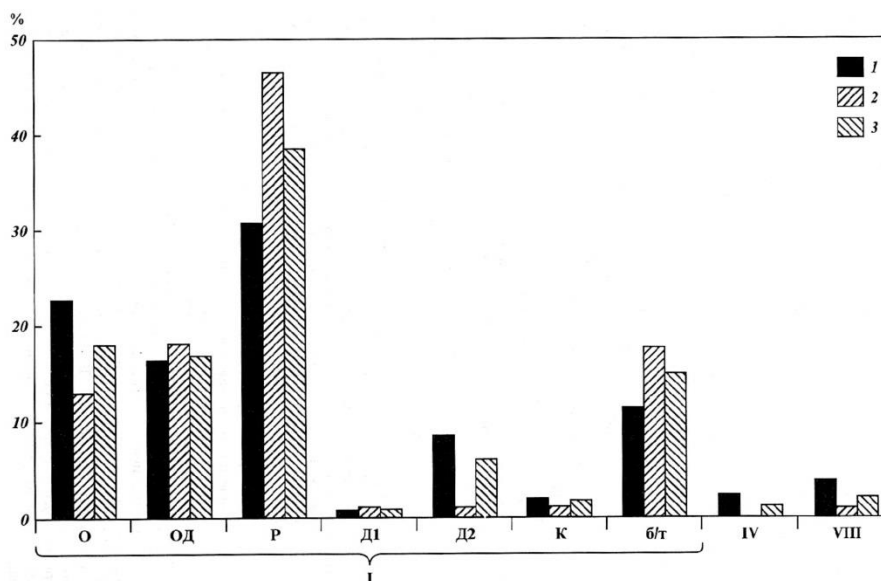


Рис. 2. Типоморфные особенности алмазов из кимберлитовых тел Далдынского поля: I, IV, VIII – разновидности алмазов по классификации Ю. Л. Орлова (О – октаэдры, ОД – переходные формы, Р – ламинарные ромбододекаэдры, Д1 – додекаэдры скрытослоистые, Д2 – додекаэдры с шагренью, К – кубы, б/г – осколки). 1–2 – трубки Иреляхская и Дальняя соответственно; 3 – среднее по полю.

[Fig. 2. Typomorphic features of diamonds from the kimberlite bodies of the Daldynskoe field: I, IV, VIII – varieties of diamonds according to the classification of Yu. Orlov (O-octahedrons, TF – transitional forms, P – laminar rhombidodecahedrons, D1 – stratified dodecahedrons, D2 – dodecahedrons with shagreen, C – cubes, f fragments). 1–2 – Irelyakhskaya and Dalnyaya pipes, respectively; 3 – field average. Key: O – O, OD – TF, P – R, D1 – D1, D2 – D2, K – C, б/г – f.]

слабой интенсивности при единичных находках алмазов с желто-зеленой и серой. Особенностью алмазов трубки Дальняя является (рис. 3) заметная (35–42%) роль кристаллов с сине-голубой фотолюминесценцией при сравнительно высоких (17–23%) содержаниях камней со слабым, неопределенного цвета свечением, присутствие значительного (7–16%) количества камней с желто-зеленой, розово-сиреневой фотолюминесценцией и без признаков видимого свечения. От-

личие алмазов двух рудных столбов по этому признаку довольно существенны. По содержанию примесного азота в форме А-центра алмазы из кимберлитов (АКБ) трубки Дальняя принадлежат [3–5, 18–21, 23–31] к среднеазотным разновидностям с максимумом распределения в области $0-2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Они относятся к одним из наименее азотных среди алмазов кимберлитовых тел с промышленной и полупромышленной продуктивностью в ДААР [32–37].

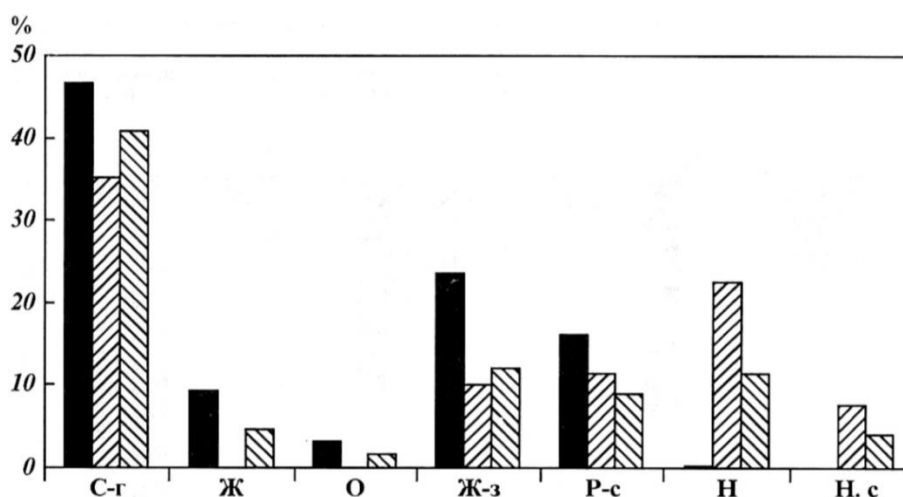


Рис. 3. Фотолюминесцентные особенности алмазов из кимберлитов Далдынского поля. Цвет люминесценции: С-г – сине-голубой, Ж – желтый, О – оранжевый, Ж-з – желто-зеленый, зеленый, Р-с – розово-сиреневый, Н – неопределенный; Н.с. – не свещающиеся алмазы; прочие условные обозначения см. на рис. 2.

[Fig. 3. Photoluminescent features of diamonds from kimberlites of the Daldynskoye field. Luminescence colour: MB – moderately blue, Y – yellow, O – orange, Y-g – yellow-green, green, R-l – pink-lilac, H – indeterminate; N.l – non-luminous diamonds; see other legends in Fig. 2. Key: C-g – MB, Ж – Y, O – O, Ж-з – Y-g, P-c – P-l, H – I, H.c – N.l.]

На юго-западном фланге Далдынского поля (ДКП) расположена **кимберлитовая трубка Иреляхская**, имеющая достаточно сложное внутреннее строение вследствие наличия [4–7, 12–17] не менее двух фаз внедрения – первая ПК и вторая – КБ. Основная часть объёма кимберлитового тела, вскрытого разведочными скважинами, сложена брекчиевой разностью. ПК находится в виде массивов различного размера, а АКБ вскрыта только единичными скважинами. Для КБ характерны светло-серые или коричневые цвета. Содержание псевдоморфоз по оливину I и II генераций составляет соответственно 10–15 и 15–20%. Сложены псевдоморфозы хлорит-серпентин-карбонатным или серпентин-карбонатным агрегатом. Широко распространена примесь рудного минерала, образующего как достаточно крупные зерна (1–2 мм), так и мелко-рассеянные по всему объёму породы. АКБ представлена ядерными и безъядерными разновидностями серого и светло-серого цвета. Основная масса сложена мелкозернистым серпентин-карбонатным агрегатом. Содержание ксенолитов обычно не превышает 5–10% объёма породы, и доминируют среди них неравномерно распределённые карбонатные породы. Форма ядерных автолитов округлая или близкая к ней, размеры от 0.7–1.0 до 3–5 см. Порфиновые выделения в них представлены серпентиновыми и серпентин-карбонатными псевдоморфозами по оливину величиной 0.2–0.3 мм. Безъядерные автолиты имеют форму, близкую к округлой. Порфиновые выделения в них представляют собой псевдоморфозы по оливину серпентинового, карбонатного и серпентин-карбонатного состава размером до 0.2–0.4 мм. Характерны ПК серого и светло-серого, реже светло-рыжего (ржавого) цвета. Структура их среднезернистая, текстура порфировая. Порфиновые выделения представлены псевдоморфозами по оливину и составляют 20–25% объёма породы (в отдельных участках – до 30–35%). Кроме серпентина, карбоната, рудного вещества и ИМК, в основной массе этого типа пород рентген-дифрактометрическими исследованиями установлены [19–23]: кварц, брусит, моноклинные пироксены, полевые шпаты, а иногда и слюда, которая фиксируется в виде мелких (до 0.7 мм) частично или полностью изменённых чешуек.

По кристалломорфологическим особенностям (рис. 2) среди изученных кристаллов из трубки Иреляхская преобладают (до 91%) алмазы I разновидности. Отличительной особенностью является повышенное, по сравнению с другими трубками района, содержание равномерно окрашенных желтых октаэдров II разновидности (IIa) удачнинского типа (3.4%) и молочно-белых, реже серых и желтых, окрашенных алмазов с оболочкой IV разновидности (<2%). Содержание поликристаллических сростков VIII и IX разновидностей в сумме достигает 4%. Отмечено также увеличение содержания ламинарных ромбододекаэдров с повышением крупности алмазов, что является типоморфной особенностью промышленных месторождений с относительно невысокой алмазоносно-

стью (трубка Юбилейная). По морфологическим типам среди алмазов I разновидности из трубки Иреляхская наиболее распространены ромбододекаэдры (30%) и октаэдры (22%). Среди кристаллов ромбододекаэдрического габитуса чаще всего встречаются ламинарные тонкослоистые индивиды (29%), отмечается при этом пониженное (по сравнению с другими трубками) количество кристаллов с блоковой скульптурой (<2%). Среди октаэдров преобладают индивиды с занозистой штриховкой (9%); реже, чем, в других трубках, наблюдаются кристаллы с полицентрическим строением граней и сноповидной штриховкой. Содержание переходных форм обычное (15%), особенность – повышенное количество кристаллов с полицентрическим строением граней (10%) и пониженное – алмазов с блоковой скульптурой (0.1%). Содержание типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа невысокое по сравнению с другими диатремами – 9%, причем чаще встречаются кристаллы с шагренью и полосами пластической деформации – 8%. Бесформенные осколки без признаков кристаллографической огранки представлены в основном обломками с механическими и технологическими сколами (в сумме до 11%). Следует отметить повышенное содержание обломков с протоматматическими и коррозионными сколами (соответственно 34 и 6%). Содержание двойников и сростков (рис. 3) сравнительно низкое (до 17%); среди них преобладают незакономерные сростки (6%), двойники по шпинелевому закону (до 5%) и вроски (2.5%). Доля кристаллов с признаками природного травления несколько выше, чем в других трубках региона (52%). Отмечается повышенное количество индивидов с коррозией (до 11%, что в десятки раз больше, чем в других диатремах), матировкой (3%), останцами (9%). Реже, чем в других трубках ДААР, среди скульптур травления встречаются шрамы (11%) и полосы пластической деформации (2%). Высокое содержание алмазов с коррозией является признаком их окисления в процессе автометаморфизма кимберлитов. Подавляющее большинство камней в той или иной степени прозрачны, независимо от размеров кристаллов; количество непрозрачных алмазов редко превышает 2%. Довольно часто (29%) встречаются полупрозрачные камни. Общее количество окрашенных кристаллов высокое (до 47%), причем доминирующей является лилово-коричневая окраска (33%). Отметим также повышенное содержание камней с желтой окраской (до 4%), представленных алмазами II разновидности. Встречены также (рис. 4) кристаллы, окрашенные в молочно-белые (0.6%) и фиолетовые (1.3%) цвета. Содержание камней с фиолетовой окраской является наиболее высоким для кимберлитовых тел ДААР. По фотолуминесцентным особенностям преобладают (рис. 4) кристаллы с сине-голубым (46%) и желто-зеленым (23%) свечением. Отмечается заметное содержание кристаллов с розово-сиреневыми (16%) и желтыми (9.3%) цветами люминесценции. Алмазы из кимберлитов трубки Иреляхская являются [18–21]

среднеазотными, что подтверждается содержанием примесного азота в форме А-центра по результатам УФ-спектроскопии, представляющегося одномодальной кривой с максимумом в области $(4-5) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, что приближается к кристаллам других месторождений ДААР. Большинство (73%) изученных алмазов содержат центр N3, ответственный за сине-голубую фотолюминесценцию. Свыше половины алмазов на УФ-спектрах содержат полосу поглощения 400 нм, связанную с пластической деформацией, что согласуется с высоким содержанием камней с лилово-коричневой (из-за пластической деформации) окраской.

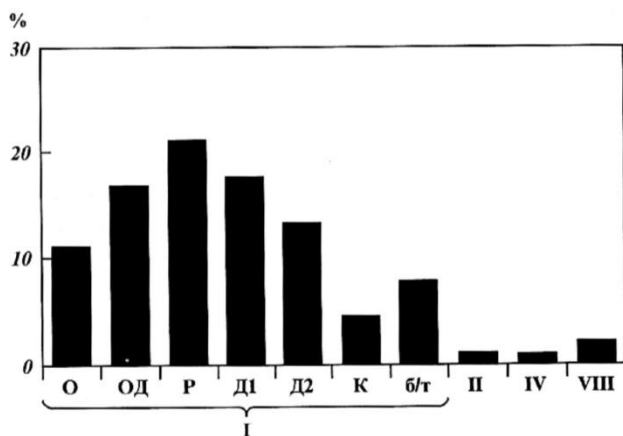


Рис. 4. Типоморфные особенности алмазов из кимберлитов трубки Малокуонапская (Куранахское поле): I, II, IV, VIII – разновидности алмазов по Ю.Л. Орлову (O – октаэдры, OD – переходные формы, P – ламинарные ромбододекаэдры, D1 – додекаэдры скрытослоистые, D2 – додекаэдры с шагренью, K – кубы, б/т – осколки).

[Fig. 4. Typomorphic features of diamonds from kimberlites of the Malokuonapskaya pipe (Kuranakh field): I, II, IV, VIII – varieties of diamonds according to Yu. L. Orlov (O – octahedrons, TF – transitional forms, P – laminar rhombidodecahedrons, D1 – stratified dodecahedrons, D2 – dodecahedrons with shagreen, C – cubes, f – fragments). Key: O – O, OD – TF, P – R, D1 – D1, D2 – D2, K – C.]

Кимберлитовая трубка Радиоволновая открыта в ДААР по результатам заверки аномалии при радиоволновом межскважинном просвечивании (РВП) участка детальных поисковых работ. По величине алмазов (данные кернового опробования) эта трубка относится к кимберлитовым телам с несколько повышенной крупностью камней при средней массе кристаллов класса +0.5 мм, равной 3.44 мг [19–21, 23–27]. Подавляющее большинство алмазов представлено бесцветными, реже эпигенетически окрашенными в дымчато-коричневые цвета кристаллами I разновидности (свыше 90%) при заметном (до 5%) количестве поликристаллических агрегатов VIII и IX разновидностей и несколько меньшем – желто-зеленых кубоидов II и серых кубов III разновидности. Среди I разновидности по кристалломорфологическим особенностям преобладают кристаллы ромбододекаэдрического габитуса (свыше 40%), около половины из них составляют типично округлые алмазы, значительная

часть которых с кавернами. Содержание кристаллов октаэдрического габитуса составляет в среднем более 25% и заметно увеличивается с уменьшением их крупности (особенно в классах мельче 0.5 мм). По характеру связи кристалломорфологических особенностей алмазов с их крупностью трубка Радиоволновая близка к типу трубки Юбилейная [6, 19–22]. Среди типичных округлых алмазов преобладают прозрачные додекаэдровиды уральского (бразильского) типа, при низком содержании окрашенных додекаэдровидов с шагренью и полосами пластической деформации, что является одной из причин их повышенного качества. Содержание двойников и сростков, представленных в большинстве случаев двойниками по шпинелевому закону и незакономерными сростками, низкое – всего около 30%, причем роль их уменьшается с увеличением крупности кристаллов. Общее количество алмазов с признаками природного травления, представленных в основном шрамами и кавернами, составляет около 33%, причем каверны характерны преимущественно для округлых додекаэдровидов. Среди камней категории прозрачных, составляющих около половины общего количества, доминируют весьма прозрачные и чистой воды, что является одной из причин их сравнительно высокого качества. Окрашенных камней около 25% с преобладанием лилово-дымчато-коричневой слабой интенсивности окраски алмазов I разновидности при присутствии индивидов с серой (из-за включений графита), соломенно-желтой и желтой. По фотолюминесцентным особенностям выделяются (около 20% общего количества) алмазы с сине-голубым свечением, хотя около половины кристаллов без признаков такого. Присутствуют также алмазы с зеленой, желтой, оранжевой, розово-сиреневой и слабой, неопределенного цвета фотолюминесценцией. Число алмазов с твердыми включениями (представленными в основном эпигенетическим графитом, иногда в ассоциации с сульфидами) небольшое (не выше 33%), что является самым низким показателем для кимберлитовых тел ДААР [31–37]. Степень сохранности (целостности) алмазов сравнительно высокая и трещиноватость камней низкая. Число безазотных алмазов типа IIa в описываемой диагреме низкое.

Куранахское кимберлитовое поле расположено на юге Анабарского алмазоносного района (ААР), который занимает территорию вдоль восточной границы Анабарского массива и протягивается в субмеридиональном направлении от истоков р. Укукит на юге до устья р. Хара-Мас (левый приток р. Анабар) на севере на расстояние до 300 км [8–12, 19–21, 24–26]. На западе и северо-западе этой территории распространены породы архейского метаморфического комплекса (гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболы и кварциты), смятые в складки северо-западного простирания. Платформенные образования, окаймляющие кристаллический массив, представлены песчаниками, кварцито-песчаниками, гравелитами, доломитами верхнего протерозоя (синийский комплекс) и карбо-

натными породами (известняки, доломиты, мергели и горючие сланцы) кембрия, залегающими на размытой поверхности синия. Магматические породы района представлены в основном дайками долеритов, карбонатитами (на севере района), кимберлитами и пикритами, слагающими многочисленные трубки и жильные тела. На западе и юго-западе района в пределах Анабарского массива обнажаются интрузии пироксенитов, перидотитов, гранитов, дайки диабазов архейского и протерозойского возраста. Зона проявления кимберлитовых пород в ААР протягивается вдоль восточной и юго-восточной границ кристаллического массива, фактически повторяя его очертания [4, 14–17]. В этом же направлении через весь район проходит зона глубинных разломов, фиксируемая в осадочном чехле линейно вытянутыми магнитными аномалиями. На севере района в пределах этой зоны распространены трубчатые тела карбонатитов, в то время как в центре и на южном фланге зоны преобладают диатремы кимберлитов. Всего в ААР к настоящему времени выявлено более 200 кимберлитовых тел, сгруппированных в шесть кимберлитовых полей. С севера на юг здесь выделяются [4–6, 19–22] Орто-Баргинское, Нижнекуонапское, Среднекуонапское, Дьюкенское, Лучаканское и Куранахское поля. Возраст кимберлитовых пород района большинством исследователей принимается как мезозойский (поздний триас – ранняя юра), а тела карбонатитов имеют более молодой возраст (юра – ранний мел). С целью изучения алмазоносности кимберлитов поля опробовано [1–4, 20] около 160 трубчатых и линзовидных тел. Алмазы обнаружены только в 39 телах в количестве от единичных до нескольких тысяч кристаллов. Относительно более высоким уровнем алмазоносности характеризуются трубки Лучаканского и Куранахского кимберлитовых полей, расположенных на крайнем юге района. Однако практический интерес на сегодня может представлять только трубка Малокуонапская Куранахского кимберлитового поля (ККП), в пределах которого выявлены 21 трубка и 2 дайки кимберлитов. Форма трубок удлиненно-овальная, иногда сложная. Мощность даек до 20–30 м, протяженность до 1 км. Вмещающими породами являются карбонатные и терригенно-карбонатные отложения кембрия. Все тела перекрыты делювиальными образованиями небольшой мощности. Кимберлиты часто локализируются в разломах северо-западного простирания. В этом же направлении ориентированы дайки и длинные оси трубок. Среди кимберлитовых пород ККП выделяются две разновидности – ПК и КБ.

Кимберлитовая трубка Малокуонапская расположена в верхнем течении р. Малая Куонапка, на её левом берегу в 0.5 км от русла. Она прорывает отложения верхнего протерозоя и нижнего кембрия, перекрываясь лишь маломощным чехлом элювиально-делювиальных отложений. На уровне современного эрозийного среза диатрема характеризуется близкой к грушевидной формой с расширенной южной частью и более узкой северной. Длинная ось её имеет мери-

диональное простирание. Размеры диатремы в верхней части составляют 320x255 м. Трубка состоит из двух сопряженных между собой рудных столбов (северного и южного), отвечающих двум этапам формирования диатремы и сложенных различными типами кимберлитовых пород. Северный рудный столб представляет собой небольшое тело близкой к прямоугольной формы, вытянутое в меридиальном направлении. На глубине 100 м происходит резкое сужение контуров рудного столба, и он переходит в дайку шириной до 20 м, пространственно тяготеющую к западному контакту с вмещающими породами. Северная часть трубки сложена преимущественно ПК первой фазы внедрения, по трещинам инъецированным АКБ второй фазы, сформировавшей в основном южную часть трубки (южный рудный столб). Последний представляет собой трубообразное тело с эродированным кратером, характеризующееся субвертикальным и слабонаклоненным к центру трубки падением контактов. В плане южное тело имеет овальную форму с некоторым удлинением в субширотном направлении. Внутреннее строение южной части трубки более сложное, чем северной. Большая часть её сложена АКБ второй фазы внедрения, содержащей в виде включений обломки ПК второй фазы (типа «кимберлит в кимберлите»). Вдоль восточного и юго-восточного контактов южного рудного столба выделяется так называемая зона смешения (ЗС) кимберлитовых пород, сложенная АКБ, насыщенной (до 10% объёма) обломками ПК.

Трубка Малокуонапская является единственным на СП месторождением с полупромышленной алмазоносностью среднемезозойского возраста с различным возрастом (на 50 млн лет) двух фаз кимберлитового магматизма [1–5, 19–22]. По своим типоморфным особенностям алмазы северного и южного столбов заметно отличаются. Основными типоморфными особенностями алмазов (рис. 4 и 5) северного рудного столба с повышенной алмазоносностью трубки Малокуонапская является [4, 20, 23–26]: преобладание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов, при низком количестве типичных округлых алмазов; сравнительно высокое содержание ламинарных ромбододекаэдров с блоковой скульптурой; низкое число окрашенных камней; преобладание (рис. 6) кристаллов с розово-сиреневой фотолюминесценцией и без признаков видимого свечения и при очень низком содержании камней с сине-голубым свечением; незначительное количество алмазов с включениями; низкая степень трещиноватости (рис. 7); повышенное содержание азота в форме А-центра и высокое качество алмазного сырья. Для сравнения необходимо отметить, что алмазы АКБ центрального рудного столба резко отличаются от кристаллов северного рудного столба преобладанием типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа, повышенным содержанием кристаллов с признаками природного травления, полупрозрачных и трещиноватых

камней, повышенным количеством кристаллов с включениями, повышенной степенью сохранности (целостностью), фотолуминесцентными особенностями и более низким качеством алмазного сырья. По содержанию примесного азота в кристаллах в форме А-центра алмазы трубки Малокуонапская являются в основном высокоазотными при низком (до 0.8%) содержании безазотных индивидов типа Па. Алмазы из

порфиrowого кимберлита (ПК) южного рудного столба трубки Малокуонапская (результаты kernового опробования) по минералогическим особенностям и качеству камней близки к аналогичным породам северного рудного столба, что, учитывая его сравнительно высокую алмазоносность, существенно повышает промышленную ценность месторождения.



Рис. 5. Фото алмазов трубки Малокуонапская (Куранахское поле).
[Fig. 5. Photo of diamonds from the Malokuonapskaya pipe (Kuranakh field).]

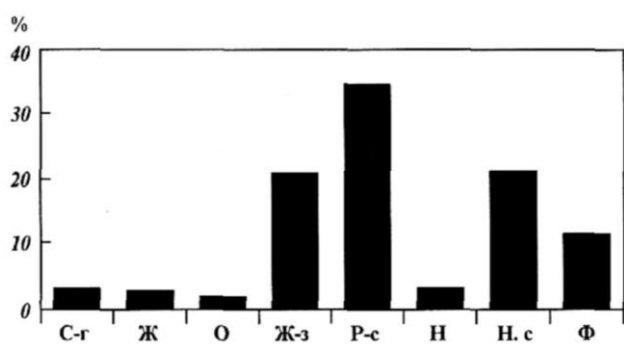


Рис. 6. Фотолуминесцентные особенности алмазов из кимберлитов трубки Малокуонапская (Куранахское поле). Цвет люминесценции: С-г – сине-голубой, Ж – желтый, О – оранжевый, Ж-з – желто-зеленый, зеленый; P-с – розово-сиреневый, Н – неопределенный; Н.с. – не светящиеся алмазы, Ф – фиолетовый.

[Fig. 6. Photoluminescent features of diamonds from kimberlites of the Malokuonapskaya pipe (Kuranakh field). Luminescence colour: MB – moderately blue, O – orange, Y-g – yellow-green, R-l – pink-lilac, H – indeterminate; N.l – non-luminous diamonds, P – purple. Key: C-г – MB, O – O, Ж-з – Y-g, P-с – P-l, H – I, Н.с. – N.l., Ф – P.]

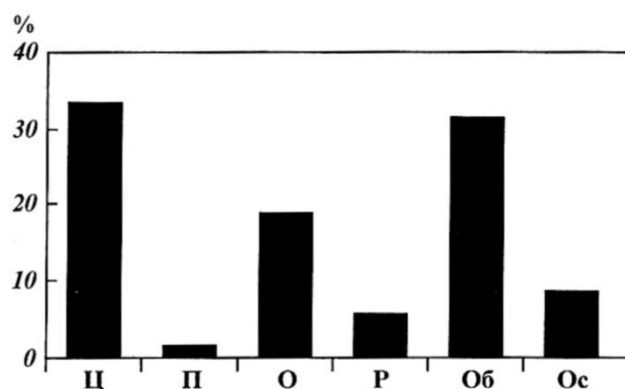


Рис. 7. Сохранность (целостность) алмазов из кимберлитов трубки Малокуонапская (Куранахское поле): Ц – целые кристаллы, П – поврежденные, О – обломанные, P – расколотые, Об – обломки, Ос – осколки.

[Fig. 7. Preservation (integrity) of diamonds from kimberlites of the Malokuonapskaya pipe (Kuranakh field): W – whole crystals, D – damaged, C – chipped, B – broken, D.d. – diamond debris, D.c. – diamond chips. Key: Ц – W, П – D, O – C, P – B, Об – D.d., Ос – D.c.]

Заключение

Анализируя результаты проведенных исследований, необходимо отметить, что алмазы отдельных кимберлитовых тел с полупромышленной алмазоспособностью характеризуются комплексом типоморфных особенностей, позволяющим их достаточно уверенно идентифицировать и, учитывая изменения в стоимости продаваемых алмазов и конъюнктуре рынка. Рассмотренные в качестве примера диатремы в любой период могут вовлекаться в промышленную обработку, что уже намечилось в АК «АЛРОСА», которая провела дополнительные оценочные мероприятия на диатремах Дальняя, Иреляхская и др. В частности, алмазы из кимберлитовых тел ДААР и Верхнемунского алмазосносных районов (ВМАР) характеризуются преобладанием кристаллов ромбододекаэдрического габитуса, при высоком содержании типичных округлых алмазов, являющихся неблагоприятным фактором алмазоспособности. Так, кимберлитовая трубка Дальняя характеризуется комплексом типоморфных особенностей алмазов, отличающихся от таковых из эксплуатируемых коренных месторождений ДААР (ассоциация дальнинского типа). Основным отличительным признаком их является черепитчатая скульптура, в основном на кристаллах ромбододекаэдрического габитуса. Алмазы кимберлитов трубки Иреляхская также характеризуются комплексом типоморфных особенностей, позволяющим уверенно их идентифицировать. Они по некоторым особенностям схожи с кристаллами из некоторых кимберлитовых тел ДААР и резко отличаются от кристаллов из месторождений Малоботуобинского (МБАР) и Среднемархинского (СМАР) алмазосносных районов. Типоморфными особенностями алмазов трубки Радиоволновая являются преобладания кристаллов ромбододекаэдрического габитуса, среди которых около половины составляют типичные округлые алмазы (в основном скрытокристаллические), низкое содержание двойников и сростков и высокое количество камней с кавернами. Другими особенностями алмазов диатремы являются высокая степень прозрачности и очень низкое содержание окрашенных камней, преобладание кристаллов без признаков видимого свечения с синеголубой фотолуминесценцией, низкая роль индивидов с твердыми включениями и высокая степень сохранности (целостности). Отличительные типоморфные особенности характерны для алмазов и из других рассмотренных диатрем с полупромышленной рудоспособностью. Это свидетельствует о значительном растворении и последующем травлении алмазов в процессе подъема кимберлитовой магмы и при автотоморфизме кимберлитов. Различия в особенностях алмазов отдельных кимберлитовых тел в пределах различных алмазосносных районов ниже, чем районов между собой в целом, что является подтверждением неоднородности строения верхней мантии в различных частях СП. Преобладание ламинарных кристаллов октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов в трубке Малокуо-

напская, находящейся в периферийной части СП, указывает на отсутствие горизонтальной зональности в изменении типоморфных особенностей алмазов в пределах территории, о чем неоднократно писалось в литературе. Пример трубки Малокуонапская свидетельствуют о том, что отсутствует зональность и по концентрации примесного азота в форме А-центра в алмазах, так как высокоазотными являются не только кимберлитовые тела МБАР и СМАР (ЦСАСП), но и северо-востока СП (ЛААСП).

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бардухинов Л. Д. Особенности алмазов и состав включений в них как поисковые признаки на примере Накынского и Алаakit-Мархинского кимберлитовых полей: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Улан-Уде, ГИН СО РАН. 2020. 21 с.
2. 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. 18–30.
3. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Коптиль В. И., Чашка А. И., Полканов Ю. А., Палкина Е. Ю., Хренов А. Я., Шевырев Л. Т. Сравнительная характеристика типоморфных особенностей алмазов из терригенных отложений Воронежской антеклизы (Липецкая область) и Украинского щита (Среднее Приднестровье) в связи с проблемой прогнозирования и поисков их коренных источников // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2004. №2. С. 99–110.
4. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 1997. №2. С. 53–63.
5. Зинчук Н. Н., Специус З. В., Зуенко В. В., Зуев В. М. Кимберлитовая трубка Удачная (вещественный состав и условия формирования). Новосибирск: НГУ. 1993. 147 с.
6. Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А. Тектонофизические исследования при алмазопоисковых работах. Методическое пособие. М.: Научный мир. 2008. 175 с.
7. Дукардт Ю. А., Борис Е. И. Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. Воронеж: ВГУ. 2000. 161 с.
8. Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // *Доклады АН СССР*. 1987. Т.296. №5. С.1228–1233.
9. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2000. №3.(9). С. 37–55.
10. Харьков А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н., Крючков А. И., Уханов А. В., Богатых М. М. Петрохимия кимберлитов. М. Недр. 1991. 304 с.
11. Квасница В. Н., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. М.: Недр. 1999. 224 с.
12. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Минералогия древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // *Геология и геофизика*. 1987. №1. С. 90–96.

13. Мацюк С. С., Зинчук Н. Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. М.: Недра. 2001. 428 с.
14. Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Яныгин Ю. Б. Особенности минерогенеза алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). М.: МГТ. 2004. 172 с.
15. Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П. Апокимберлитовые породы // *Геология и геофизика*. 1987. №10. С. 66–72.
16. Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д. Стратегия ведения и результаты алмазопроисковых работ // *Горный вестник*. 1997. №3. С. 53–57.
17. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логвинова А. Н. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // *Записки Российского минералогического общества*. 2009. Т.138. №2. С.1–13.
18. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. М.: Наука. 1984. 264 с.
19. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 68. 2013. 99 с.
20. Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зуев В. М. Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. М.: Недра. 2001. 198 с.
21. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // *Доклады Академии наук*. 1998. Т.361. №3. С. 366–369.
22. Зинчук Н. Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // *Геология и геофизика*. 1992. №7. С. 99–109.
23. 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.
24. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдяных минералов // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 1996. №1. С.53–61.
25. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Тычков С. А. Проблема докембрийской алмазоносности Сибирской платформы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2002. №1. С. 19–36.
26. Савко А. Д., Зинчук Н. Н., Шевырёв Л. Т., Ильяш В. В., Афанасьев Н. С. Алмазоносность Воронежской антеклизы. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 17. 2003. 121 с.
27. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // *Геология рудных месторождений*. 1999. Т.41. №3. С. 281–288.
28. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I., Zinchuk N.N., Krasavchikov V.O. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry // *Journal of Geochemical Exploration*. 2002. Т.76. №2. Р. 93–112.
29. Grachanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // *Doklady Earth Sciences*. 2015. V.465. №2. Р. 1297–1301.
30. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // *Petrology*. 2001. V.9. №6. Р. 576–588.
31. Егоров К. Н., Зинчук Н. Н., Мишенин С. Г., Серов В. П., Секерин А. П., Галенко В. П., Денисенко Е. П., Барышев А. С., Меньшагин Ю. В., Кошкарев Д. А. Перспективы коренной и россыпной алмазоносности Юго-Западной части Сибирской платформы. Сб.: Геологические аспекты минеральной сырьевой базы Акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. Дополнительные материалы по итогам региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений», посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Мирный: МГТ. 2003. С.50–84.
32. Афанасьев В. П., Елисеев А. П., Надолинный В. А., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Рылов Г. М., Томиленко А. А., Горайнов С. В., Юрьева О. П., Сонин В. М., Чепуров А. И. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов У и УП разновидностей (по классификации Ю. Л. Орлова) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2000. №5. С.79–97.
33. Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Логвинова А. М., Зинчук Н. Н., Ефимова Э. С., Сафьянников В. И., Красавчиков В. О., Подгорных М. М., Пругов В. П. Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов // *Геология и геофизика*. 2000. Т.41. №12. С. 1729–1741.
34. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Горшков А. И. Идентификация и генезис лизардит-сапонитового смешанослоного образования в кимберлитах одной из трубок Южной Африки // *Литология и полезные ископаемые*. 2003. №1. С.87–96.
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. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. 2001. Т.76. №1. С. 45–53.
37. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырёв Л. Т. Историческая минерогенеза в 3-х томах: Т.1. Введение в историческую минерогенеза.-Воронеж: ВГУ. 2005. 590 с.; Т.2. Историческая минерогенеза древних платформ.-Воронеж: ВГУ. 2007. 570 с.; Т.3. Историческая минерогенеза подвижных суперполюсов.-Воронеж: ВГУ. 2008. 622 с.

Diamonds from semi-industrial kimberlites

©2022 N. N. Zinchuk[✉], L. D. Bardukhinov

*West-Yakutian Scientific Centre of the Academy of Sciences of the Republic
of Sakha (Yakutia), 16 Chernyshevskoe shosse, Mirny, 678170, Russian Federation*

Abstract

Introduction: On the Siberian platform (SP), in addition to a group of industrial and successfully exploited diatremes, some kimberlite pipes with semi-commercial diamond content have also been discovered. Changes in the diamond market over the past 20–25 years and additional exploration and appraisal activities on individual pipes (Krasnopresnenskaya, Zapolyarnaya, and Poiskovaya) allowed some of them to be categorised as being industrial in nature. Therefore, in this study, we focused on the characterization of individual SP diatremes classified as pipes with a semi-industrial diamond content.

Methods: The article presents the results of a comprehensive study of a number of kimberlite bodies (Dalnyaya, Irelyakhskaya, Radiovolnovaya, and Malokuonapskaya pipes) with semi-industrial diamond content, which made it possible to establish the typomorphic peculiarities of diamond.

Results and discussion: Dalnyaya pipe is part of the southernmost group of bodies of the Daldyn kimberlite field (DKF). Diatreme has a complex geological structure and is represented by two varieties corresponding to two stages of its formation. In the first (intrusive) one, a stock-like body appeared, composed by dense porphyry kimberlite (PK). In the second (explosive) stage, a diatreme, filled with autolithic kimberlite breccia (AKB) of the second phase was formed. The Dalnyaya pipe is a classic example of kimberlite bodies, in which petrographic varieties differ by the typomorphic features of diamonds. The *Irelyakhskaya* kimberlite pipe is located on the south western flank of the DKF. This pipe has a rather complex internal structure due to the presence of at least two interstitial phases. With a sharp (up to 90%) predominance of diamonds of variety I in kimberlites, a distinctive feature of the diamond association is the increased role (compared to other DKF pipes) of uniformly coloured yellow octahedrons of variety II (IIa) and milky white, less often gray and yellow coloured coated diamonds of variety IV. The *Radiovolnovaya* kimberlite pipe based on diamond size, belongs to diatremes with a slightly increased size of gem stones with an average crystal weight of 3.44 mg. The vast majority of diamonds in the pipe are colourless, less often epigenetically coloured in smoky-brown colours of variety I (over 90%) with a noticeable (up to 5%) amount of polycrystalline aggregates of variety VIII and IX and somewhat less - yellow-green cuboids of variety II and grey cubes of variety III. The *Malokuonapskaya* kimberlite pipe located in the Kuranakh field in the south of the Anabar diamond-bearing region, it consists of two ore shafts (northern and southern) conjugated with each other, corresponding to two stages of diatreme formation and composed of various types of kimberlites. The pipe is the only deposit in the joint venture with a semi-commercial diamond content of the Middle Mesozoic age with two different phases of kimberlite magmatism. According to their typomorphic features, the diamonds of the northern and southern shafts differ significantly.

Conclusions: Diamonds from semi-industrial diatremes of the studied diamond-bearing regions of the SP are characterized by the predominance of rhombododecahedral crystal habit with a high content of typical rounded diamonds, which are an unfavourable factor for diamond content. The difference in the features



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Nikolai N. Zinchuk, e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

of diamonds in individual kimberlite bodies is lower than within diamond-bearing regions among themselves, which confirms the heterogeneity of the structure of the upper mantle in different parts of the platform. The predominance of laminar crystals of octahedral, rhombododecahedral, and transitional crystal habit in the pipes of the peripheral part of the SP (the Malokuonapskaya pipe) indicates the absence of horizontal zoning in the change in typomorphic features within the study area.

Keywords: diamonds and diamond content, Siberian platform, crystal morphology, heterogeneity of the upper mantle.

For citation: Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D. Diamonds from semi-industrial kimberlites. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 2, pp. 32–45. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.2/9277>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

- Bardukhinov L. D. *Osobennostialmazov i sostav vkladyucheni v nikh kak poiskovye priznaki na primere Nakynskogo i Alakit-Markhinskogo kimberlitovykh polei*: avtoref. diss. ... kand. geol.-min. Nauk [Peculiarities of diamonds and the composition of inclusions in them as search features on the example of the Nakyn and Alakit-Markhin kimberlite fields. Abstract of PhD diss.]. Ulan-Ude, GIN SO RAN, 2020. 21 p. (In Russ.)
- Zinchuk N. N., Koptil' V. I., Boris E. I., Lipashova A. N. Tipomorfizmalmazov iz rossypei Sibirskoi platformy kak osnova poiskovalmaznykh mestorozhdenii [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as a basis for prospecting for diamond deposits]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 1999, no. 3, pp. 18–30. (In Russ.)
- Zinchuk N. N., Savko A. D., Koptil' V. I., Chashka A. I., Polkanov Yu. A., Palkina E. Yu., Khrenov A. Ya., Shevyrev L. T. Sravnitel'naya kharakteristika tipomorfnykh osobennosteialmazov iz terrigennykh otlozhenii Voronezhskoi anteklizy (Lipetskaya oblast') i Ukrainiskogo shchita (Srednee Pridnestrov'e) v svyazi s problemoi prognozirovaniya i poiskov ikh korennykh istochnikov [Comparative characteristic of typomorphic features of diamonds from terrigenous deposits of the Voronezh antecline (Lipetsk region) and the Ukrainian shield (Middle Transnistria) in connection with the problem of forecasting and searching for their primary sources]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2004, no. 2, pp. 99–110. (In Russ.)
- Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Osobennosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnykh formatsii [Features of clay minerals in deposits of various sedimentary formations]. *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka – Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 1997, no. 2, pp. 53–63. (In Russ.)
- Zinchuk N. N., Spetsius Z. V., Zuenko V. V., Zuev V. M. *Kimberlitovaya trubka Udachnaya (veshchestvennyi sostav i usloviya formirovaniya)* [Udachnaya kimberlite pipe (material composition and formation conditions)]. Novosibirsk, NGU publ., 1993, 147 p. (In Russ.)
- Gladkov A. S., Bornyakov S. A., Manakov A. V., Matrosov V. A. *Tektonofizicheskie issledovaniya prialmazoposkovykh rabotakh*. Metodicheskoe posobie [Tectonophysical research at diamond prospecting works. Toolkit]. Moscow, Nauchnyi mir publ., 2008, 175 p. (In Russ.)
- Dukardt Yu. A., Boris E. I. *Avlakogenez i kimberlitovyi magmatizm* [Avlacogenesis and kimberlite magmatism]. Voronezh: Voronezh State University publ., 2000, 161 p. (In Russ.)
- Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotel'nikov D. D. Primenenie klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonornosti vyvetrivaniya porod razlichnogo sostava [Application of cluster analysis to clarify the weathering patterns of rocks of different composition]. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR – Doklady AN SSSR*, 1987, vol. 296, no. 5, pp.1228–1233. (In Russ.)
- Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. Geodinamicheskii kontrol' razmeshcheniya kimberlitovykh polei tsentral'noi i severnoi chastei Yakutskoi kimberlitovoi provintsii (petrokhimicheskii aspekt) [Geodynamic control of the location of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakutsk kimberlite province (petrochemical aspect)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2000, no.3(9), pp. 37–55. (In Russ.)
- Khar'kiv A. D., Zuenko V. V., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I., Ukhanov A. V., Bogatykh M. M. *Petrokhimiya kimberlitov* [Petrochemistry of kimberlites]. Moscow, Nedra publ., 1991, 304 p. (In Russ.)
- Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. *Tipomorfizm mikrokrystallov almaza* [Typomorphism of diamond microcrystals]. Moscow, Nedra publ., 1999, 224 p. (In Russ.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N. Mineralogiya drevnykh rossypeialmazov vostochnogo borta Tungusskoi sineklizy [Mineralogy of ancient diamond placers of the eastern side of the Tunguska syncline]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1987, no. 1, pp. 90–96. (In Russ.)
- Matsyuk S. S., Zinchuk N. N. *Opticheskaya spektroskopiya mineralov verkhnei mantii* [Optical spectroscopy of minerals of the upper mantle]. Moscow, Nedra publ.,

2001, 428 p. (In Russ.)

14. Zinchuk N. N., Boris E. I., Yanygin Yu. B. *Osobennosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnykh tolshchakh (na primere verkhnepaleozoiskikh otlozhenii Sibirskoi platformy)* [Peculiarities of diamond minerageny in ancient sedimentary strata (on the example of the Upper Paleozoic deposits of the Siberian platform)]. Moscow, MGT publ., 2004, 172 p. (In Russ.)
15. Zinchuk N. N., Mel'nik Yu. M., Serenko V. P. Apokimberlitovye porodny [Apokimberlite rocks]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1987, no. 10, pp. 66–72. (In Russ.)
16. Zinchuk N. N., Zuev V. M., Koptil' V. I., Chernyi S. D. Strategiya vedeniya i rezul'taty almazoposkovykh rabot [Strategy of conducting and results of diamond prospecting operations]. *Gornyi vestnik – Mining Bulletin*, 1997, no. 3, pp. 53–57. (In Russ.)
17. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Logvinova A. N. Osobennosti raspredeleniya rossypnykh almazov, svyazannykh s dokembriiskimi istochnikami [Peculiarities of distribution of placer diamonds associated with Precambrian sources]. *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva – Notes of the Russian Mineralogical Society*, 2009, vol. 138, no. 2, pp. 1–13. (In Russ.)
18. Orlov Yu. L. *Mineralogiya almaza* [Mineralogy of diamond]. Moscow, Nauka publ., 1984. 264 p. (In Russ.)
19. Zinchuk N. N., Savko A. D., Krainov A. V. Kimberlity v istorii Zemli [Kimberlites in the history of the Earth]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 68, 2013, 99 p. (In Russ.)
20. Serokurov Yu. N., Kalmykov V. D., Zuev V. M. *Kosmicheskie metody pri prognozirovanii i poiskakh mestorozhdenii almazov* [Cosmic methods in forecasting and prospecting for diamond deposits]. Moscow, Nedra publ., 2001, 198 p. (In Russ.)
21. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Poligenез almazov v svyazi s problemoi korennykh rossypei severo-vostoka Sibirskoi platformy [Polygenesis of diamonds in connection with the problem of bedrock placers in the north-east of the Siberian platform]. *Doklady Akademii nauk – Reports of the Academy of Sciences*, 1998, vol. 361, no. 3, pp. 366–369. (In Russ.)
22. Zinchuk N. N. Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoi i Vostochno-Evropеiskoi platformy [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1992, no. 7, pp. 99–109. (In Russ.)
23. Kotelnikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N. Osnovnye zakonomernosti vyvetrivaniya silikatnykh porod razlichnogo khimicheskogo i mineralogicheskogo tipa [Basic laws of weathering of silicate rocks of various chemical and mineralogical types]. *Lithology and Mineral Resources – Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1995, no. 6, pp. 594–601. (In Russ.)
24. Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N. Tipomorfnye osobennosti i paleogeograficheskoe znachenie slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographic significance of micaceous minerals]. *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka – Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 1996, no. 1, pp. 53–61. (In Russ.)
25. Afanas'ev V.P., Zinchuk N.N., Tychkov S. A. Problema dokembriiskoi almazonosnosti Sibirskoi platformy [The problem of Precambrian diamond content of the Siberian Platform]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2002, no. 1, pp. 19–36. (In Russ.)
26. Savko A. D., Zinchuk N. N., Shevyrev L. T., Il'yash V. V., Afanas'ev N. S. Almazonosnost' Voronezhskoi anteklizy [Diamond content of the Voronezh antecline]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., 2003, vol.17, 121 p. (In Russ.)
27. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N. Osnovnye litodinamicheskie tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [Basic lithodynamic types of halos of indicator minerals of kimberlites and conditions of their formation]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii – Geology of ore deposits*, 1999, vol. 41, no. 3, pp. 281–288. (In Russ.)
28. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I., Zinchuk N.N., Krasavchikov V.O. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 2002, vol.76, no. 2, pp. 93–112.
29. Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform. *Doklady Earth Sciences*, 2015, vol.465, no. 2, pp. 1297–1301.
30. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform. *Petrology*, 2001, vol. 9, no.6, pp. 576–588.
31. Egorov K. N., Zinchuk N. N., Mishenin S. G., Serov V. P., Sekerin A. P., Galenko V.P., Denisenko E.P., Baryshev A.S., Men'shagin Yu.V., Koshkarev D.A. Perspektivy korennoi i rossypnoi almazonosnosti Yugo-Zapadnoi chasti Sibirskoi platformy [Prospects for the primary and alluvial diamond content of the Southwestern part of the Siberian Platform]. Sb.: *Geologicheskie aspekty mineral'no-syr'evoi bazy Aktsionernoi kompanii «ALROSA»: sovremennoe sostoyanie, perspektivy, resheniya. Dopolnitel'nye materialy po itogam regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy geologicheskoi otrasli AK «ALROSA» i nauchno-metodicheskoe obespechenie ikh reshenii», posvyashchennoi 35-letiyu YaNIGP TsNIGRI AK «ALROSA»* [Sat: Geological aspects of the mineral resource base of Joint Stock Company ALROSA: current state, prospects, solutions. Additional materials on the results of the regional scientific-practical conference "Actual problems of the geological industry of AK ALROSA and scientific and methodological support for their solutions", dedicated to the 35th anniversary of YANIGP TsNIGRI AK

- ALROSA.]. Mirnyi, MGT publ., 2003, pp. 50–84. (In Russ.)
32. Afanas'ev V. P., Eliseev A. P., Nadolnnyi V. A., Zinchuk N.N., Koptil' V.I., Rylov G.M., Tomilenko A.A., Goryainov S.V., Yur'eva O.P., Sonin V.M., Chepurov A.I. Mineralogiya i nekotorye voprosy genezisaalmazov U i UP raznovidnostei (po klassifikatsii Yu. L. Orlova) [Mineralogy and some issues of the genesis of U and UP varieties of diamonds (according to the classification of Yu.L. Orlov)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2000, no. 5, pp. 79–97. (In Russ.)
33. Afanas'ev V. P., Pokhilenko N. P., Logvinova A. M., Zinchuk N. N., Efimova E.S., Saf'yannikov V.I., Krasavchikov V.O., Podgornykh M.M., Prugov V.P. Osobennosti morfologii i sostava nekotorykh khromshpinelidovalmazonosnykh ploshchadei v svyazi s problemoi «lozhnykh» indikatorov kimberlitov [Features of the morphology and composition of some chrom-spinels of diamond-bearing areas in connection with the problem of "false" indicators of kimberlites]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 2000, vol.41, no. 12, pp. 1729–1741. (In Russ.)
34. Zinchuk N. N., Kotel'nikov D. D., Gorshkov A. I. Identifikatsiya i genezis lizardit-saponitovogo smeshanosloinogo obrazovaniya v kimberlitakh odnoi iz trubok Yuzhnoi Afriki [Identification and genesis of lizardite-saponite mixed-layer formation in kimberlites of one of the pipes of South Africa]. *Litologiya i poleznye iskopaemye – Lithology and Minerals*, 2003, no. 1, pp. 87–96. (In Russ.)
35. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N., Kuz'min V. A. Morfogeneticheskie raznovidnosti kaolinita v korakh vyvetrivaniya i osadochnom chekhle zemnoi kory. Stat'ya 1. Mekhanizm obrazovaniya kaolinita v korakh vyvetrivaniya razlichnykh petrokhimicheskikh tipov porod [Morphogenetic varieties of kaolinite in weathering crusts and sedimentary cover of the earth's crust. Article 1. Mechanism of kaolinite formation in weathering crusts of various petrochemical types of rocks]. *Izvestiya VUZov. – Geologiya i razvedka. Izvestiya VUZov. Geology and exploration*, 2006, no. 5, pp. 19–25. (In Russ.)
36. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v otlozheniyakh terrigennoi formatsii [Conditions of accumulation and postsedimentary transformation of clay minerals in the sediments of the terrigenous formation]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel geologichesk – Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geological department*, 2001, vol. 76, no. 1, pp. 45–53. (In Russ.)
37. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. *Istoricheskaya minerageniya*. [Historical Minerageny]. In 3 vol. Vol. 1. *Vvedenie v istoricheskuyu minerageniyu*. [Introduction to historical minerageny]. Voronezh, VSU publ., 2005, 587 p; Vol. 2. *Istoricheskaya minerageniya drevnykh platform*. [Historical Minerageny of Ancient Platforms]. Voronezh, VSU publ., 2007, 570 p. Vol. 3. *Istoricheskaya minerageniya podvizhnykh superpoyasov*. [Historical minerageny of mobile superbelts]. Voronezh, VSU publ., 622 p. (In Russ.)

Зинчук Николай Николаевич – д. г.-м. н., профессор, академик Академии наук РС (Якутия), председатель ЗЯНЦ АН РС (Я), Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; E-mail: nnzinchuk@rambler.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

Бардухинов Леонид Данилович – к. г.-м. н., заведующий лабораторией, НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО); Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; E-mail: BarduchinovLD@alrosa.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2047-4946>.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Nikolai N. Zinchuk – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., professor, academician of the Academy of Sciences of the RS (Yakutia), chairman of West-Yakutian Scientific Centre of the SR (Yakutia) Academy of Sciences, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; E-mail: nnzinchuk@rambler.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

Leonid D. Barduchinov – PhD in Geol.-Min., Head of Laboratory, NIGP AK ALROSA (PJSC); Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; E-mail: BarduchinovLD@alrosa.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2047-4946>.

All authors have read and approved the final manuscript.