

## Особенности кальцита из кимберлитовых пород

©2023 Н. Н. Зинчук<sup>✉</sup>

*Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я)  
ул. Тихонова, 5/1, 678170, Мирный, Российская федерация*

### Аннотация

*Введение:* Характерной чертой кимберлитовых тел, установленных на древних платформах мира, является значительная изменчивость параметров их вещественного состава. Высокий градиент изменчивости вещественных признаков в объеме кимберлитовых тел во многом связан с полигенностью и гетерохронностью компонентов самих слагающих трубки пород, охватывающих диапазон условий образования от верхней мантии (через пневматолитово-гидротермальную стадию) до гипергенеза. Значительную роль в формировании окончательного облика кимберлитов играет вмещающая диатремы среда (состав и механические свойства вмещающих пород). Зависимость петрофизических, петрохимических, геохимических и минералогических особенностей кимберлитов от состава и механических свойств вмещающих трубки пород должна учитываться при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов. Под влиянием вмещающих пород химический состав кимберлитов может стать существенно отличным от привычного первичного состава в связи с чем химический критерий может потерять свою диагностическую роль. Петрофизические свойства кимберлитовых пород во многом зависят от степени постмагматических и гипергенных изменений, главным минералом среди которых является кальцит. В настоящей работе дана характеристика кальциту–доминирующему, породообразующему минералу класса карбонатов в кимберлитах.

*Объекты, методология исследований, результаты и их интерпретация:* Кальцит является одним из наиболее распространенных карбонатов в кимберлитовых породах Сибирской платформы, чему во многом способствовал терригенно-карбонатный состав толщ, вмещающих диатремы. Встречается минерал в кимберлитах в виде зерен и агрегатов в основной массе пород, прожилков и гнезд, сферических выделений, друз, жеод и щеток. Доминирует в трубках несколько разновидностей минерала: а) ранний (глубинный) первично магматический кальцит (включения в глубинных минералах); б) глубинный метасоматический кальцит – продукт верхнемантийного метасоматоза пород и минералов; в) собственно кимберлитовый кальцит, кристаллизация которого связана с различными этапами постмагматического и гипергенного преобразования пород. Кальцит можно отнести к сквозным, но полигенным минералам кимберлитового процесса, всестороннее комплексное исследование которых может дать новую информацию о природе и специфике этого процесса на разных этапах становления кимберлитовых тел (трубок, даек и силлов). Отмечается гетерогенная природа Са и СО<sub>2</sub> в кальцитах и многостадийность процессов кальцитообразования в кимберлитах. Процесс кристаллизации кальцита в кимберлитах очень сложный и многостадийный. Часто в пределах отдельной жеоды выделяется несколько генераций кальцита, отличающихся размерами, морфологическими особенностями, набором включений, типом зональности, окраской и люминесцентными свойствами. Полученные типоморфные особенности кальцита из кимберлитов можно успешно использовать для совершенствования технологических методик извлечения алмазов из пород, а в переработанном виде в осадочных толщах как дополнительный поисковый критерий.

*Заключение:* Важными и принципиальными являются сегодня вопросы информативности и типоморфного значения микросостава и свойств кальцита из кимберлитовых пород, что в



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

<sup>✉</sup> Зинчук Николай Николаевич, e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

определенной мере затрудняет их использование в качестве генетических индикаторов условий кимберлиитообразования. Количественные взаимоотношения между минеральными фазами и формой выделений кальцита могут существенно различаться. На глубину изученных диатрем установлены закономерности в распределении как породообразующих новообразований основной массы (в том числе и кальцита), так и прожилковой гидротермальной минерализации. Особенности распределения кальцита в плане диатрем часто связаны со степенью постмагматической и гидротермальной измененности пород.

**Ключевые слова:** кальцит, кимберлит, кальцитообразование, постмагматические и гипергенные процессы.

*Для цитирования:* Зинчук Н. Н. Особенности кальцита из кимберлитовых пород // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2023. № 2. С. 28–43. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/28-43>

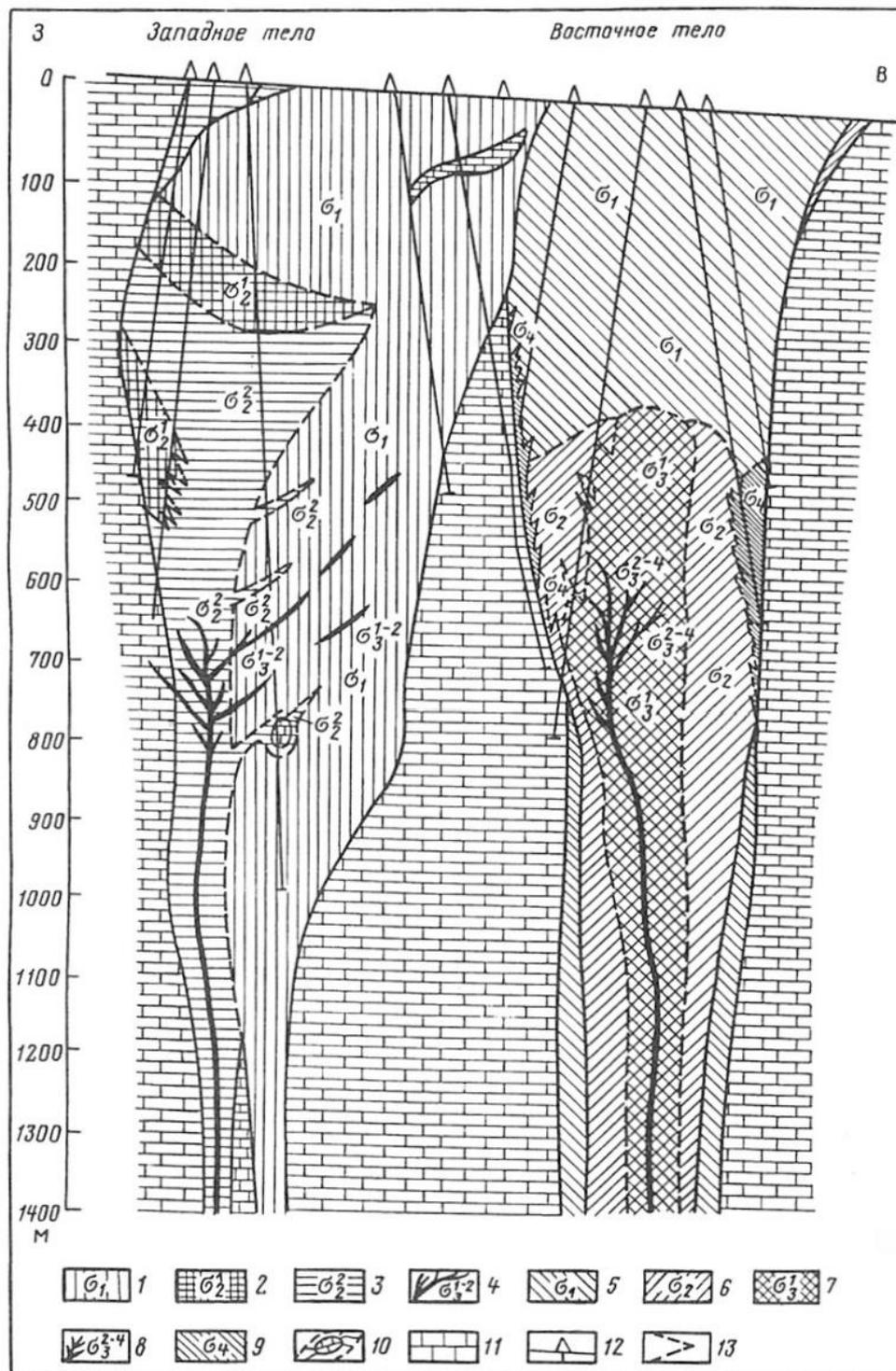
### Введение

Характерной чертой кимберлитовых тел, установленных на древних платформах мира, является значительная изменчивость параметров их вещественного состава. Высокий градиент изменчивости вещественных признаков в объеме кимберлитовых тел во многом связан с полигенностью и гетерохронностью компонентов самих слагающих трубки пород, охватывающих диапазон условий образования от верхней мантии через пневматолитово-гидротермальную стадию до гипергенеза. Значительную роль в формировании окончательного облика кимберлитов играет вмещающая диатремы среда (состав и механические свойства вмещающих пород). Зависимость петрофизических, петрохимических, геохимических и минералогических особенностей от состава и механических свойств вмещающих трубки пород должна учитываться при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов. Поиски кимберлитовых пород в новых районах и на слабо опосредованных территориях должны осуществляться с учетом тех возможных изменений, которым могут быть подвергнуты кимберлиты в зависимости от состава вмещающих пород и последующих их постмагматических и гипергенных изменений в диатремах. Под влиянием вмещающих пород химический состав кимберлитов может стать существенно отличным от привычного первичного состава в связи с чем химический критерий может потерять свою диагностическую роль. В кимберлитовых породах с разной направленностью вторичных изменений по-разному меняются физические свойства (магнитные, плотностные, электрические и др.), что может найти отражение с использованием конкретного геофизического метода. Петрофизические свойства кимберлитовых пород во многом зависят от степени постмагматических и гипергенных изменений, главным среди которых является карбонатизация, рассмотренная нами раньше [1]. Все это необходимо принимать во внимание при шлихо-минералогических и геохимических методах поисков алмазных месторождений [2-9]. В настоящей работе дана характеристика кальциту – доминирующему, породообразующему минералу класса карбонатов в кимберлитах.

### Объекты, методология исследований, результаты и их интерпретация

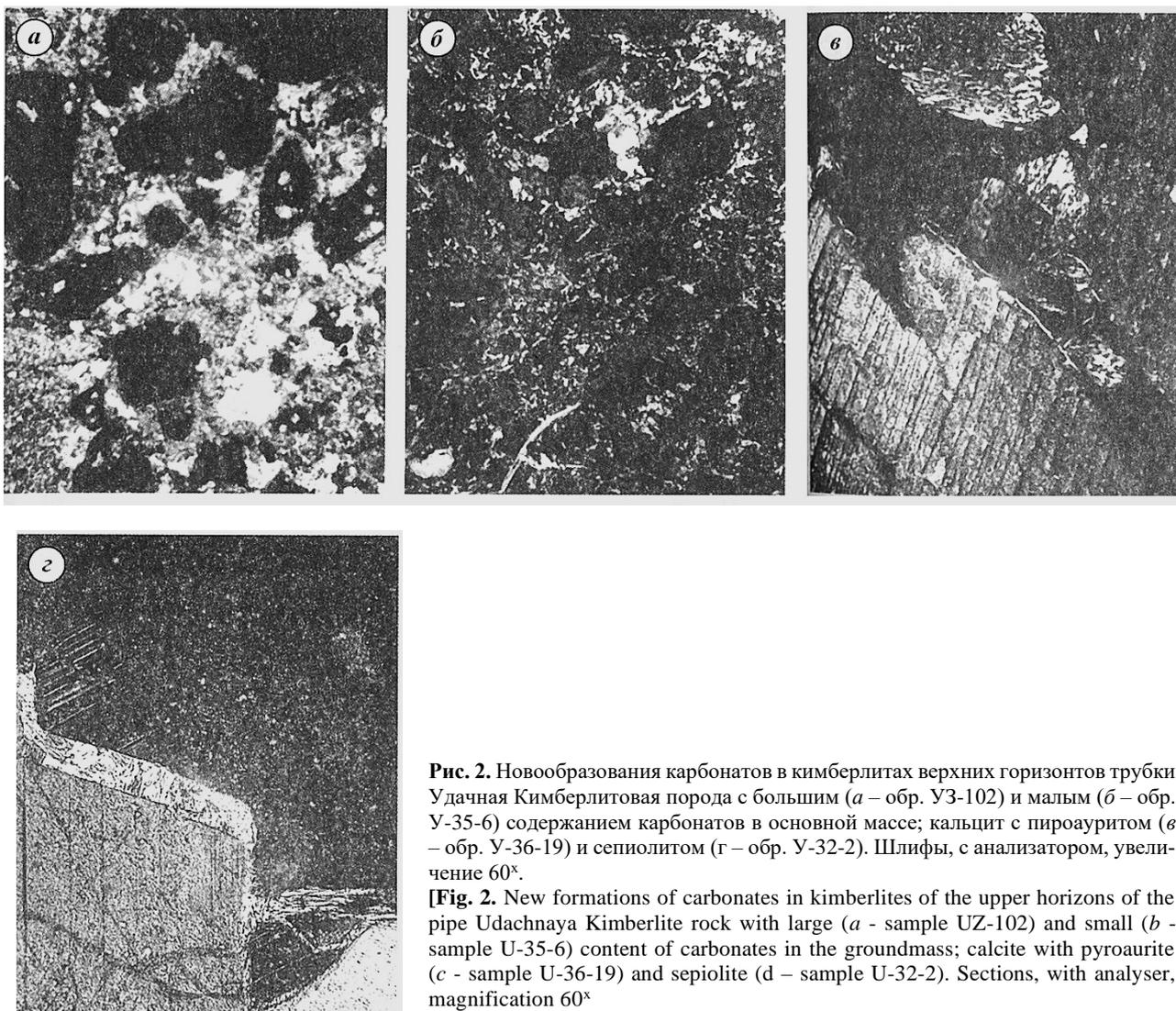
Вопросы внедрения кимберлитовой магмы, становления и последующего изменения пород кимберлитовых диатрем (рис. 1) в той или иной мере рассматривались в многочисленных работах [10-19]. При изучении кимберлитов обычно главное внимание уделяется реликтовым структурам и текстурам исходной породы, по которым построены практически все классификации этих уникальных образований. Анализируя литературный материал и результаты собственных исследований по кимберлитам Сибирской (СП), Восточно-Европейской (ВЕП) и Южно-Африканской (ЮАП) платформ, следует отметить, что нередко очень трудно ответить на ряд вопросов, связанных с генезисом карбонатов и, прежде всего, с магматическим их происхождением. Особенности внедрения кимберлитов заключались в скорости заполнения образовавшегося в момент взрыва пространства [20-26], куда устремились порции магмы, наиболее обогащенные летучими компонентами. Фактически «прострел» и произошел из-за того, что в наиболее ослабленных участках сосредоточились летучие из огромного резервуара, а значит и магма на этих участках была максимально ими обогащена, что нельзя забывать при интерпретации результатов исследования состава и структуры этих образований. Очень важным при решении этого вопроса является выяснение закономерностей в распределении карбонатов в различных частях диатрем, в том числе и на разведанную глубину. Обычно верхние уровни кимберлитовых трубок сложены вулканогенно-осадочными образованиями и брекчиями (породами со значительным содержанием ксенолитов вмещающих диатремы пород), то и повышенные количества карбонатов отмечаются в основной массе пород этих толщ, что отражается и на количестве здесь минералов этой группы.

*Кальцит* является одним из наиболее распространенных карбонатов в кимберлитовых породах как СП, так и других регионов мира. Часто минерал наблюдается в виде неправильных зерен и их агрегатов в основной массе пород (рис. 2, а-г). Агрегаты кальцита



**Рис. 1.** Геологический разрез кимберлитовой трубки Удачная [46]: 1–4 – западное тело: 1–3 – кимберлитовая брекчия (1 – первой фазы внедрения, 2 – второй фазы с первичными текстурами течения, 3 – то же, с массивной текстурой связующей массы), 4 – жильные кимберлиты заключительной фазы; 5–9 – восточное тело: 5–7 – кимберлитовая брекчия (5 – первой фазы внедрения с массивной текстурой связующей массы, 6 – второй фазы, 7 – третьей фазы), 8 – жильные кимберлиты, 9 – кимберлиты четвертой фазы; 10 – крупные ксенолиты вмещающих пород; 11 – вмещающие карбонатные породы; 12 – скважины; 13 – контакты между кимберлитами разных фаз.

[**Fig. 1.** Geological section of the Udachnaya kimberlite pipe [46]: (1–4) – western body: (1–3) – kimberlite breccia ((1) – the first interstitial phase, (2) – second phase with primary flow textures, (3) – the same, with a massive texture of the binding mass), (4) – vein kimberlites of the final phase; (5–9) – east body: (5–7) – kimberlite breccia ((5) – the first interstitial phase with a massive texture of the binder mass, (6) – the second phase, (7) – third phase) (8) – vein kimberlites, (9) – kimberlites of the fourth phase; (10) – large xenoliths of host rocks; (11) – host carbonate rocks; (12) – wells; (13) – contacts between kimberlites of different phases.]



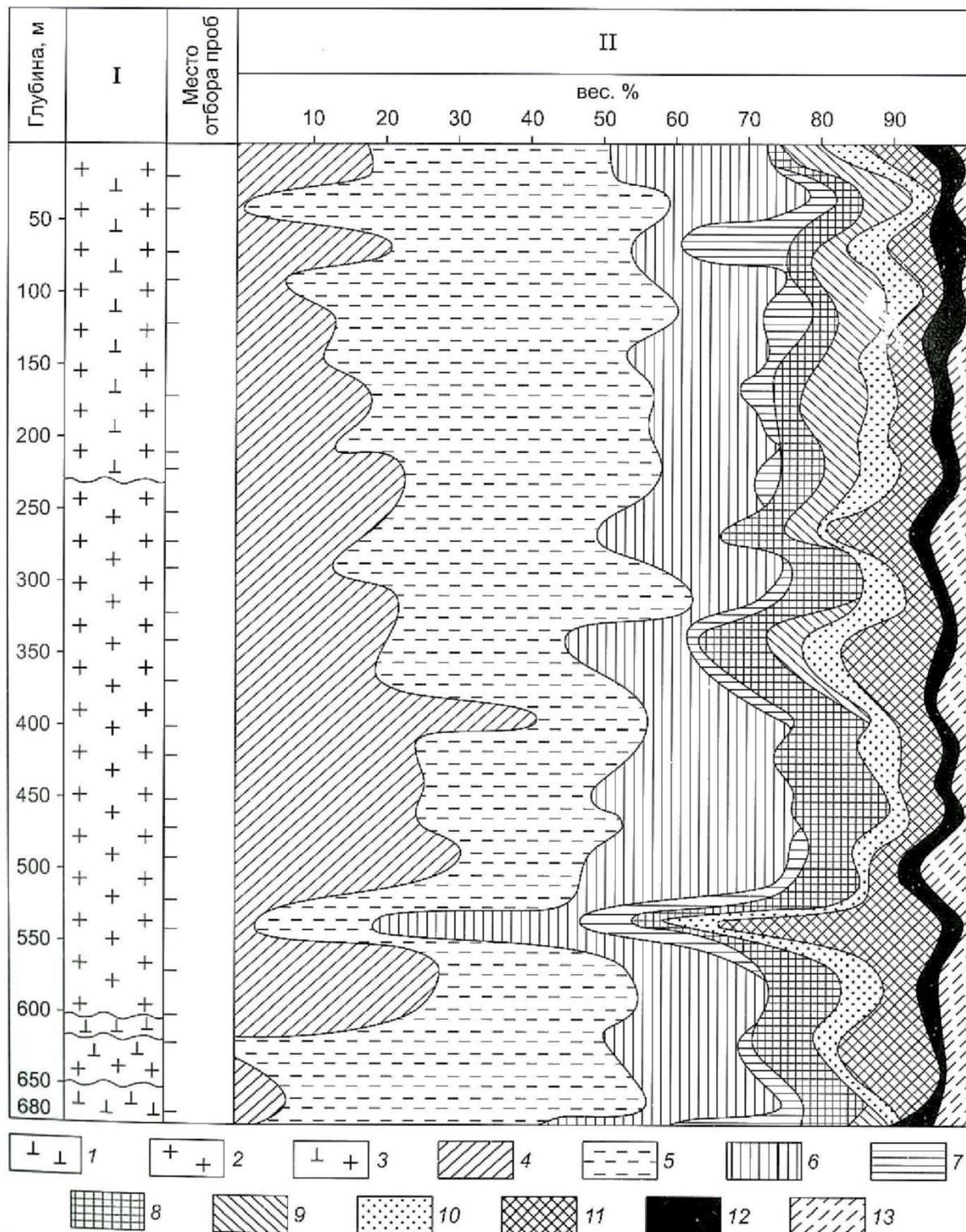
**Рис. 2.** Новообразования карбонатов в кимберлитах верхних горизонтов трубки Удачная Кимберлитовая порода с большим (*a* – обр. УЗ-102) и малым (*b* – обр. У-35-6) содержанием карбонатов в основной массе; кальцит с пироауритом (*c* – обр. У-36-19) и сепиолитом (*d* – обр. У-32-2). Шлифы, с анализатором, увеличение 60<sup>x</sup>.

**[Fig. 2.]** New formations of carbonates in kimberlites of the upper horizons of the pipe Udachnaya Kimberlite rock with large (*a* - sample UZ-102) and small (*b* - sample U-35-6) content of carbonates in the groundmass; calcite with pyroaurite (*c* - sample U-36-19) and sepiolite (*d* - sample U-32-2). Sections, with analyser, magnification 60<sup>x</sup>

неправильной формы также входят в состав псевдоморфоз по оливиноу. Довольно часто распространены лейстовидные и столбчатые выделения минерала, приуроченные к основной массе породы, неравномерно распределенные как по вертикальному разрезу трубок (рис. 3), так и в плане по площади изученных опорных горизонтов (рис. 4). Во многих диатремах (Удачная, Юбилейная и др.) отмечены прожилки и гнезда кальцита, а иногда и сферические образования минерала. Встречены и концентрически-зональные полусферы (рис. 5), на поверхности которых вырастают [27-32] корочки других новообразований (кварца, сепиолита, битумов и др.). Жилы и гнезда кальцита в кимберлитах нередко выполнены хорошо ограненными кристаллами, образующими друзы. Наиболее часто встречающимися простыми формами минерала в кимберлитах являются [33-40] скаленоэдры и ромбоэдры (рис. 6). Иногда прожилки кальцита пронизывает в различной степени рыхлый кимберлит. Кальцит образует здесь удлиненные зерна, ориентированные перпендикулярно к поверхности кимберлита, с которым имеет резкий контакт. Минерал в этом случае слабо окрашен в

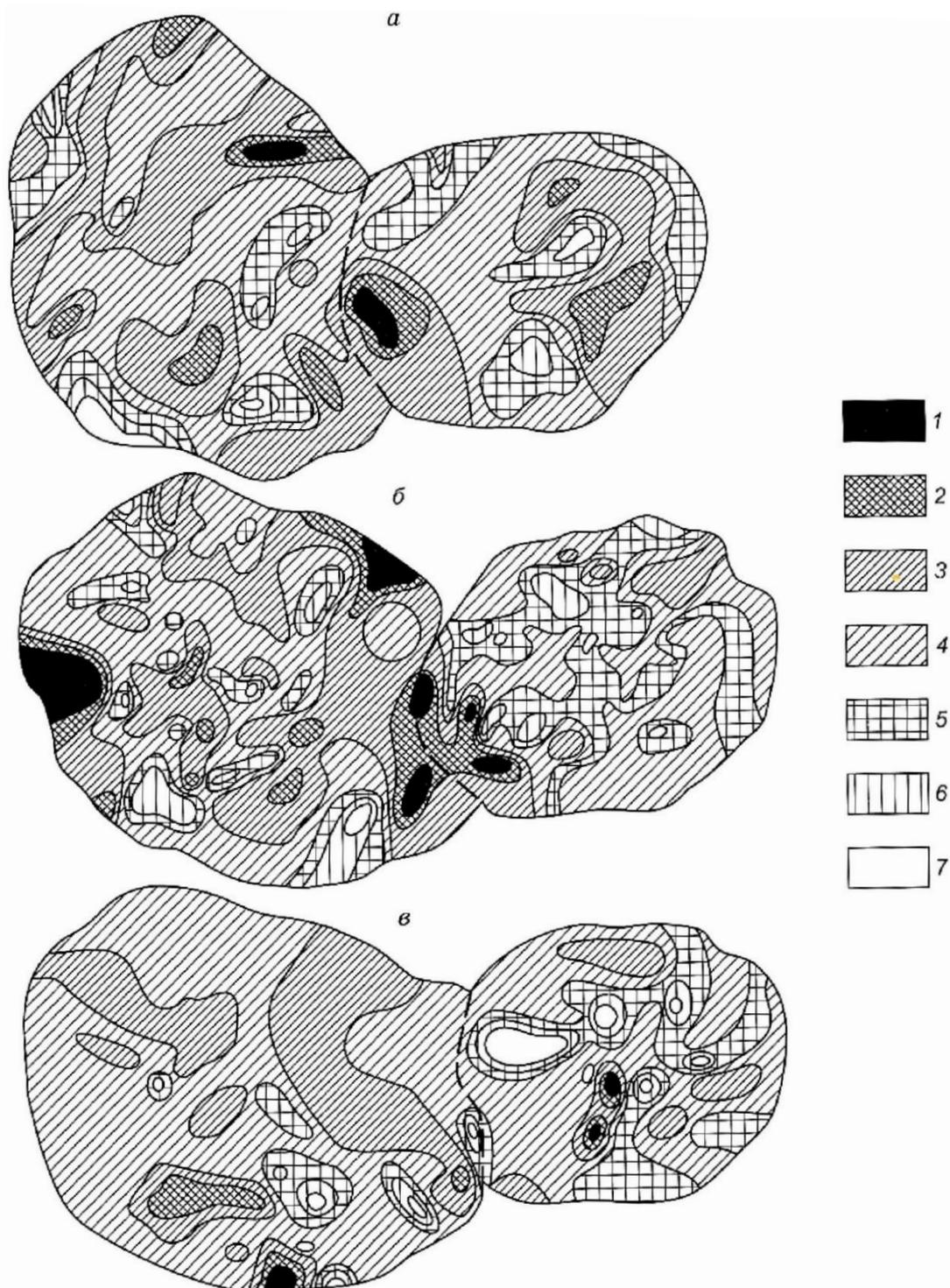
зеленоватые тона разной интенсивности. В отдельных диатремах (Мир, Интернациональная и др.) отмечены игольчатые образования кальцита. Иголки чаще всего представлены мутными выделениями кальцита, вызванными включениями рудных минералов. В таких смесях минерал уверенно диагностируется рентгенографическими ( $d=0,380; 0,3007; 0,2487; 0,2275; 0,2084; 0,1902$  и  $0,1834$  нм), термографическими (четкий эндотермический эффект в области 800-1000° С) и химическими исследованиями, отметившими преобладание в минерале СаО (51,01-56,20 %) и СО<sub>2</sub> (33,74-43,62 %).

Основная масса кимберлитовых пород сложена преимущественно смесью карбонатов и серпентина с переменной примесью многих других новообразований. Часть кальцита выполняет в таких породах пустотно-прожилковые образования, формируя в кимберлитах прожилки, друзы, жеоды и щетки. В качестве позднего новообразования кальцит установлен нами и в некоторых глубинных включениях (породах): в ильменит-титан-клиногумитовых дунитах (парагенетическая ассоциация Тi-клиногумит + К-рихтерит + кальцит + апатит + пирротин), рутил-циркононовых сростках



**Рис. 3.** Распределение преобладающих минералов в основной массе кимберлитовых пород восточного тела трубки Удачная (по разрезу разведочной скважины 221): 1 – Петрографические типы кимберлитов: 1 – порфировый кимберлит 1-го этапа внедрения; 2 – кимберлитовая брекчия 2-го этапа внедрения; 3 – кимберлитовая брекчия 2-го этапа внедрения с автолитами первого; II – Минералы (в мас. %): 4 – оливин; 5 – серпентин; 6 – кальцит; 7 – доломит; 8 – флогопит; 9 – хлорит; 10 – оксиды и гидроксиды железа; 11 – брусит; 12 – гипс + галит; 13 – прочие минералы.

[**Fig. 3.** Distribution of predominant minerals in the groundmass of kimberlite rocks of the eastern body of the Udachnaya pipe (along the section of exploration well 221): 1 – Petrographic types of kimberlites: (1) – porphyritic kimberlite of the 1st stage of intrusion; (2) – kimberlite breccia of the 2nd stage of intrusion; (3) – kimberlite breccia of the 2nd stage of intrusion with autoliths of the first; II - Minerals (in wt. %): (4) – olivine; (5) – serpentine; (6) – calcite; (7) – dolomite; (8) – phlogopite; (9) – chlorite; (10) – oxides and hydroxides of iron; (11) – brucite; (12) – gypsum + halite; (13) – other minerals.]



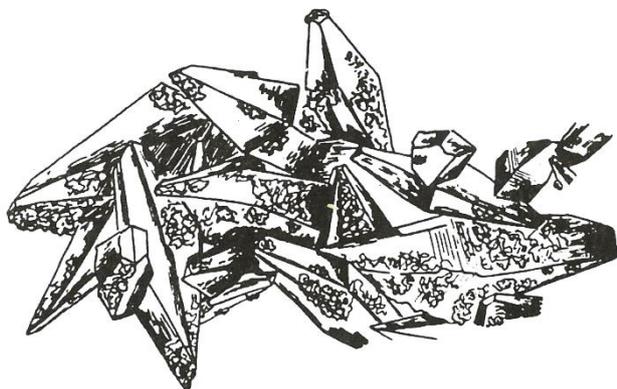
**Рис. 4.** Распределение кальцита в кимберлитовых породах трубки Удачная: Содержание минерала (в %): 1 – 30–35; 2 – 25–30; 3 – 20–25; 4 – 15–20; 5 – 10–15; 6 – 5–10; 7 – меньше 5.

**[Fig. 4.** Распределение кальцита в кимберлитовых породах трубки Удачная: Mineral content (in %): (1) – 30–35; (2) – 25–30; (3) – 20–25; (4) – 15–20; (5) – 10–15; (6) – 5–10; (7) – less than 5.]

(циркон + флогопит + кальцит), рутиловых эклогитах (амфибол + флогопит + кальцит + апатит ± кварц), ильменит – амфиболовых вебстеритах (амфибол + циркон + апатит + кальцит) и некоторых глиммеритах (флогопит + кальцит ± амфибол). Кальцит известен также в виде включений в цирконах, гранатах и оливинах.

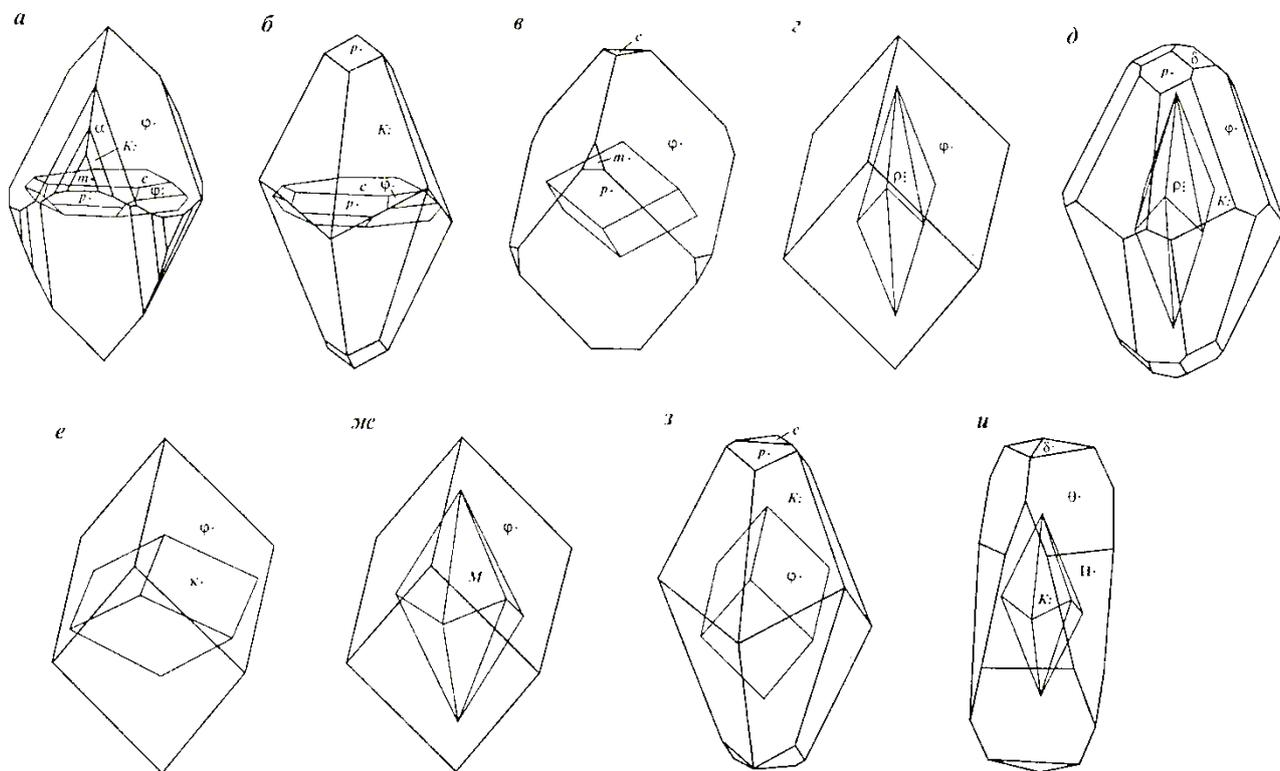
Микровключения его зафиксированы и в некоторых алмазах Заира, Ботсваны и других регионов [41–45].

На данном этапе изученности кальцита, можно выделить: а) ранний (глубинный) первично магматический кальцит (включения в глубинных минералах), образующийся из первичной водно-силикатно-карбонатной



**Рис. 5.** Друза скаленоэдрических кристаллов кальцита, покрытых пленкой гематита и гётита. Трубка Удачная, обр. УВ-226, увеличение 15.

[Fig. 5. Druse of scalenohedral calcite crystals covered with a film of hematite and goethite. The tube is successful, mod. UV-226, magnification 15.]



**Рис. 6.** Взаимоотношение габитусных типов кристаллов кальцита из кимберлитовых пород Якутии. Построено с использованием материалов Б. П. Антонюка. Кальцит из кимберлитовых трубок: а – Комсомольская-Магнитная (9-143); б – Заполярная (13-403); в–д – Удачная (в – 119-4, г – 77-59, д – 77-81); е – Молодость (28-299); ж, з – Удачная (120-2 и 11-5); и – Краснопресненская (32-189)

[Fig. 6. Relationship of habitual types of calcite crystals from kimberlites of Yakutiya (of intended according to the data of Antonyuk B.P.): Calcite from kimberlite pipes: (a) – Komsomolskaya-Magnetic (9-143); (b) – Polar (13-403); (c–d) – Udachnaya (b – 119-4, g – 77-59, d – 77-81); (e) – Youth (28-299); (w, z) – Udachnaya (120-2 and 11-5); (i) – Krasnopresnenskaya (32-189)]

[46-49]; б) глубокий метасоматический кальцит – продукт верхнемантийного метасоматоза глубоких пород [50-52]; в) собственно «кимберлитовый» кальцит, кристаллизация которого связана с различными процессами формирования кимберлитовых тел [13-15, 18-22, 33-36]. Последний по способу и времени образования можно разделить: а) на «кимберлитовый» минерал, слагающий основную массу пород; б) метасоматический кальцит – продукт карбонатизации некоторых минералов и пород; в) поздний гидротермальный кальцит, выполняющий пустотно-трещинные образо-

вания. Несмотря на наличие большого количества сведений о гетерогенном источнике Ca и CO<sub>2</sub> в кальцитах, о многостадийности процессов кальцитообразования в кимберлитах и сходстве изотопных характеристик минерала из кимберлитов и карбонатитов [8-10], довольно дискуссионными остаются вопросы об устойчивости и равновесности минерального состава кальцитсодержащих ассоциаций. Не всегда уверенно удается определить – являются ли выделяемые ассоциации закономерными продуктами кристаллизации конкретной стадии кимберлиитообразования или представ-

ляют собой случайные неравновесные (наложенные) ассоциации нескольких постмагматических стадий этого процесса. Для решения некоторых из этих вопросов наиболее благоприятным объектом исследований являются полиминеральные кальцитсодержащие ассоциации из пустотно-трещинных образований, относимых большинством исследователей к наиболее поздним продуктам кристаллизации при гидротермальном процессе. Одним из путей их решения может стать сравнительное исследование закономерностей распределения в кальците редкоземельных (TR) элементов. При этом следует отметить, что фазовая неоднородность кальцита и наличие в нем микровключений других минеральных фаз не позволяют корректно провести такого рода исследование с помощью классических видов спектрального и других видов анализов вещества. Широко применяемые для таких исследований люминесцентные методы анализов определяли задачи таких исследований в следующем: а) детальное минералогическое изучение полиминеральных кальцитсодержащих ассоциаций из пустотно-трещинных образований в кимберлитах и б) сравнительное сопоставление рентгенолюминесцентных характеристик кальцитов кимберлитового и некимберлитового происхождения с целью уточнения характера равновесности кальцитсодержащих ассоциаций и выявления информативности, типоморфного и индикаторного значения люминесцентных характеристик этих минеральных фаз. Материалом для таких исследований послужили образцы кальцита из прожилков, щеток, жеод и стяжений из кимберлитовых диатрем Удачная, Юбилейная и Якутская (Далдынское поле), Хорей, Ноябрьская, Поисковая, Лидия и др. (Куойско-Бенчимское поле). Наиболее представительная коллекция (около 120 образцов кальцита) изучена из кимберлитов различных горизонтов восточного и западного тел трубки Удачная, а также переработанного отторженца («плавающего рифа») вмещающих карбонатных пород западного тела этой диатремы. С глубиной в западном теле трубки Удачная в кальцитсодержащих ассоциациях увеличивается объем выделений сульфидных минералов. Для кимберлитов верхних горизонтов восточного и западного тел этой диатремы довольно обычна ассоциация кальцита с магнетитом, в то время как в кимберлитах более глубоких горизонтов она пока не встречена. В пустотно-жилвных образованиях кимберлитов трубки Удачная нами [16, 20] установлены следующие кальцитсодержащие ассоциации: кальцит + пирит ± (сепиолит); кальцит + пирротин ± (сепиолит); кальцит + пирит + пирротин ± (сепиолит); кальцит + (сепиолит) + (талък); кальцит + целестин + кварц ± (сепиолит); кальцит + целестин ± (сепиолит); кальцит + серпентин ± (сепиолит); кальцит + халькопирит + серпентин ± (сепиолит); кальцит + доломит + серпентин + (сидерит); кальцит + пирит + сфалерит + (сепиолит); кальцит + магнетит + пирит; кальцит + магнетит + серпентин; кальцит + арагонит ± магнетит; кальцит + гётит + магнетит; кальцит + пироаурит + пирит + магнетит. Наиболее устойчивыми и часто встречающимися

являются ассоциации: кальцит + пирит ± (сепиолит), кальцит + пирит + пирротин ± (сепиолит); кальцит + целестин + пирит ± (сепиолит) и кальцит + магнетит + серпентин. Редки кальцитсодержащие ассоциации с халькопиритом и сфалеритом. Сепиолит, талък и сидерит – более поздние минералы этих ассоциаций и они не связаны единым процессом минералообразования с кальцитом и сосуществующими с ним минералами и в целом не являются парагенетическими. Помимо органического вещества, в кристаллах кальцита рентгеновскими и ИК-спектроскопическими методами диагностированы включения серовато-зеленого серпентина таблитчатого облика, кристаллы и сростки пирита, пирротина, магнетита, игольчато-пластинчатого целестина, а в агрегатном кальците – сростки и двойники кристаллов сфалерита. Особый интерес представляют кальцитсодержащие ассоциации из «плавающих рифов» – крупных мегаксенолитов вмещающих карбонатных пород в кимберлитовых диатремах. Поскольку степень перекристаллизации разных их блоков и участков была различной, то такого рода мегаксенолиты, благодаря своему объему, как бы «растянули» во времени и «сохранили в памяти» все особенности процесса взаимодействия кимберлитовых расплавов с вмещающими породами. Один из таких мегаксенолитов известен в верхних частях западного тела трубки Удачная (рис.1). Несмотря на упоминание об этом крупнейшем мегаксенолите во многих опубликованных работах [4-6, 12-21, 27-29, 35-39], детального описания всех его минеральных ассоциаций и характеристики условий их образования пока не приводилось, хотя это идеальный модельный объект для всестороннего изучения упомянутых вопросов. В результате проведенных нами исследований этого мегаксенолита были установлены следующие кальцитсодержащие ассоциации: кальцит (ранний-1) + опал + халцедон + кварц ± пирит; кальцит-1 ± опал + кварц; кальцит-1 + кварц + кальцит (поздний – П); кальцит-1 + магнетит + кальцит-П; кальцит-П + магнетит + арагонит; опал + кварц + кальцит-П ± пирит; кальцит-П + флогопит. По минеральному составу и форме выделений новообразований эти ассоциации существенно отличаются от таковых, перечисленных выше для кимберлитов. В зоне влияния крупных мегаксенолитов в кимберлитах в ассоциациях с преобладанием кальцита, возрастает роль кварца, нарастающего на «ониксоподобные» сферы коричневого кальцита ранней генерации.

По данным электронно-зондового анализа наиболее характерными примесями в кальцитах из кимберлитов являются марганец ( $MnO=0,37\%$ ), магний ( $MgO=0,04-0,34\%$ ), железо ( $FeO=0-0,13\%$ ), кобальт ( $CoO=0-0,46\%$ ), свинец ( $PbO=0,22\%$ ) и медь ( $CuO=0-0,09\%$ ). Стронций и барий в изученных нами образцах из диатрем СП не установлены, в отличие от концентрации этих ж компонентов из диатрем других древних платформ [10, 31-35]. При спектральном анализе даже самых прозрачных образцов кальцита примесь Sr (0-600 г/т) фиксируется постоянно. Это позволило нам предполагать, что это связано с присутствием в

кальцитах микрофаз целестина или стронцианита, однако это не подтверждено проведенными ИК-спектроскопическими исследованиями этих образцов. В изученных нами кальцитах установлены также примеси (в г/т): Mn (10-4000), Ti, Ni, V, Cu (0-10), Pb (0-1), Ce (0-600), La (0-300), Y (0-10) и некоторых других элементов. Примесь Mn в кальците из кимберлитов является практически постоянной, в то время как редкоземельные элементы присутствуют только в наиболее ранних гидротермальных разностях минерала из друз, жеод и щеток. Не установлены TR-элементы в кальцитах из прожилков, что подтверждается и рентгенолюминесцентными характеристиками. Одновременно проведено сравнительное исследование рентгенолюминесцентных характеристик кальцитов и некимберлитового генезиса (из карбонатитов и месторождений гидротермального и осадочного происхождения). Анализ полученных результатов и литературных данных [7-10, 23-30] показал, что люминесценция подавляющего большинства генетических разновидностей кальцита связана обычно с двумя регулярными центрами:  $Mn^{2+}$  (полоса излучения с  $\lambda_m = 630$  нм), имеющая примесной характер ( $Mn^{2+} \leftrightarrow Ca$ ) и решеточными центрами  $O^*$  ( $\lambda_m = 430$  нм), обусловленными дефектами заряда на кислороде анионного комплекса  $CO_3^{2-}$ . Полоса излучения центров  $O^2$  выражена обычно [25, 30] на два-три порядка слабее, чем таковая центров  $Mn^{2+}$ . Такой двухполосный спектр стационарной люминесценции, варьируя лишь по относительной интенсивности излучения указанных центров, является сквозным практически для всех кальцитосодержащих пород магматического, гидротермального и осадочного происхождения. Повидимому по этой причине люминесцентные характеристики в типоморфном и генетическом анализе минералов кимберлитов до сих пор используются довольно редко. Из установленных закономерностей люминесцентных свойств кальцита следует отметить увеличение интенсивности излучения центров  $Mn^{2+}$  в направлении от высоко- к низкотемпературному кальцитообразованию, от ранних генераций к поздним, от внутренних зон кристаллов к внешним. Это можно объяснить ростом совершенства кристаллического состояния и с большой эффективностью внутрикристаллических электронных процессов.

Помимо кальцитов с центрами излучения  $Mn^{2+}$  и  $O^2$  среди природных кальцитосодержащих парагенезисов установлены разновидности этого минерала, содержащие незначительные концентрации и редкоземельных центров излучения:  $Ce^{3+}$ ,  $Sm^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$ . Последние в кальцитах некимберлитового происхождения зафиксированы [7, 25, 36-44] только в спектрах фотолюминесценции и встречаются очень редко. Большим разнообразием люминесцентных свойств характеризуются изученные нами кальциты из пустотных образований в кимберлитах СП. Классический двухполосный спектр РЛ-излучения отмечен для ряда образцов кальцита из кимберлитов и во всех выделениях минерала ранней генерации из мегаксенолита вмещающих пород в западном теле трубки

Удачная. В изученных образцах в различной степени проявлено излучение оптически-активных центров (ОАЦ), связанных с редкоземельными ионами –  $Ce^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$  и  $Gd^{3+}$ . Излучение  $Ce^{3+}$  представлено характерной двойной полосой с  $\lambda_m = 340-370$  нм и фиксируется в большинстве изученных образцов от уровня следов до четко выраженного разрешаемого двухполосного излучения. Являясь эффективным люминесцентным активатором, ионы  $Ce^{3+}$  во многих кальциевых минералах служат наиболее чувствительными индикаторами наличия примесных структурных TR-ионов, особенно при низком их содержании. Более интересным в плане оценки состава TR-элементов представляется излучение ионов  $Dy^{3+}$ , идентифицируемое по двум группам линий (переходы  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{15/2}$  и  ${}^6H_{13/2}$ ) в области 480 и 580 нм (интенсивность излучения оценивалась в нашем случае по первой группе, где отмечается минимальное перекрытие излучением основных центров). Следует отметить, что излучение  $Dy^{3+}$  не вполне синхронизируется с аналогичными особенностями  $Ce^{3+}$  и даже может отсутствовать или превалировать над последним. Излучение  $Gd^{3+}$ , выявленное нами [25, 32] впервые, фиксируется по линии 312 нм (переход  ${}^6P_{7/2} \rightarrow {}^8S_{7/2}$ ), и его интенсивность коррелирует с излучением центров  $Dy^{3+}$ .

Для изучения закономерностей распределения кальцита как по вертикали (на разведанную глубину), так и латерали, нами [12, 16, 21, 45-49], на примере кимберлитов Мир, Удачная, Сытканская, Юбилейная и др. проведен пересчет валовых химических анализов на минеральный состав, по разработанной методике [50-52]. Полученные таким образом качественные и количественные характеристики по вторичным минералам контролировались петрографическими и рентген-дифрактометрическими исследованиями. Важным условием при изучении закономерностей распределения вторичных минералов в кимберлитах является усредненный отбор проб на анализы, которые могли бы объективно охарактеризовать породу в целом для данного конкретного участка. Иначе вместо проб кимберлита как породы могут получиться мономинеральные образования, относящиеся даже к некимберлитовым породам. Анализируя количественное распределение кальцита по разрезам, вскрывшим отдельными разведочными скважинами (рис.3) глубокие горизонты трубки Удачная, можно отметить, что на изученную глубину содержание минерала в породах восточного тела изменяется без четких закономерностей, в то время как в западном изменении концентрации этого компонента более значительны, что приводит к образованию блоков сильно карбонатизированных пород.

Нами предпринята попытка проведения минералогического картирования основных породообразующих минералов кимберлитов, решая при этом главную практическую задачу – выделения технологических типов кимберлитов при промышленной обработке конкретных коренных алмазных месторождений. Для выяснения пространственных закономерностей распределения минералов использовался [12-16, 20-24, 50-52]

анализ тренда, а сравнение выборок осуществлялось при помощи  $t$  и  $F$ -критериев, а также, учитывая асимметричность и отклонение распределения некоторых компонентов от нормального закона, непараметрические критерии  $\chi^2$  и Колмогорова-Смирнова ( $\lambda^2$ ). При тренд-анализе вычислялись и строились поверхности трендов до четвертой степени включительно. Устойчивость решения проверялась путем просчета вариантов с исключением части точек, а также учитывалась степень сохранности основных тенденций на трендах разного порядка. Как эти материалы, так и количественные параметры концентрации каждого минерала (в частности кальцита) наносились на планы опорных горизонтов, а поскольку точки наблюдений были расположены по сетке 40 x 40 м – получали карты распространения минералов (рис.4). Особенности распространения кальцита по латерали мы изучали на примере трех опорных горизонтов (190, 250 и 295 м), отражающих, по сути, соответственно, плотные, дезинтегрированные и выветрелые кимберлиты трубки Удачная (рис.4, а-в). В восточном теле трубки вверх по разрезу возрастает содержание кальцита, причем горизонт 190 м характеризуется существенным разбросом значений концентрации минерала, что может являться следствием как неравномерной карбонатизации кимберлитов, так и различного распределения ксеногенного карбонатного материала. В западном теле наблюдается (рис.4, в) обратная, по сравнению с восточным, тенденция распределения по описываемым горизонтам кальцита, выраженная в пониженном количестве минерала на верхнем горизонте. На горизонте 190 м (рис.4, в) восточного тела максимальные значения тренды кальцита тяготеют в основном к приконтактовым зонам диатремы, свидетельствуя, по-видимому, о частичной инфильтрации карбонатного материала из вмещающих кимберлиты пород. В западном теле этого опорного горизонта распределение кальцита имеет довольно сложное строение и характеризуется северо-западной ориентировкой элементов поверхностей тренда. Увеличение содержаний кальцита фиксируется в приконтактовых зонах на северо-востоке и юго-западе трубки, причем непосредственно к контактам с вмещающими породами оно постепенно падает. В породах центральной части месторождения, начиная от юго-восточных контактов с восточным телом и до её северо-западных границ, кальцит распределен более равномерно и его содержание несколько ниже. К следующему горизонту (250 м) в восточном теле диатремы ситуация существенно меняется (рис.4, б). Наиболее высокие содержания кальцита зафиксированы в приконтактовой зоне на западе, а остальная часть трубки характеризуется достаточно равномерным распределением этого минерала с постепенным убыванием к её восточным границам. В западном теле распределение карбонатов на этом горизонте существенно меняются. Изолинии здесь имеют почти меридиональное простирание; отчетливо прослеживается увеличение концентрации кальцита к периферии диатремы. Распределение кальцита на горизонте 295 м

(рис.4, а) в восточном теле несколько иное, чем на среднем горизонте, и характеризуется тремя зонами экстремумов северо-западного простирания – максимумы на восточном фланге и у контакта с западным телом разделены зоной пониженного и относительно равномерного распределения кальцита. В западном теле трубки Удачная конфигурация тренда кальцита на этом горизонте заметно меняется и имеет более сложное строение, но намечившаяся на предыдущем горизонте тенденция увеличения содержания к периферии трубки сохраняется. В центре фиксируется четкий минимум, а к северу, западу и юго-востоку от коренного значения тренда постепенно возрастает. Повышение концентрации кальцита обычно приурочено и к приконтактовым частям других диатрем СП. Так, в отдельных пробах из центральной части трубки Мир и её верхних горизонтов содержание  $\text{CaCO}_3$  достигает 17 %, в то время как в ближайших участках породы этим компонентом существенно обеднена. Примерно равные количества карбоната кальция (до 10-15 %) наблюдается в юго-восточной части диатремы.

### Заключение

Таким образом, проведенными исследованиями показано, что кальцит в кимберлитовых породах можно отнести к «сквозным», но полигенным образованиям магматического процесса, всестороннее исследование которых может дать интересную информацию о природе и специфике этого процесса на различных этапах. Важно при этом выяснять, несет ли кальцит того или иного этапа или стадии кимберлитобразования информацию о составе глубинного водно-силикатно-карбонатного флюида или отражает только геохимическую специализацию вмещающих диатремы пород. Важными и принципиальными являются сегодня вопросы информативности и типоморфного значения микросостава и свойств кальцита из кимберлитовых пород, что в определенной мере затрудняет их использование в качестве генетических индикаторов условий кимберлитобразования. Наиболее объективное изучение микросостава и закономерностей распределения TR-элементов в кальцитах из кимберлитов можно выполнять сегодня с помощью известных люминесцентных методов исследования минералов, отличающихся высокой чувствительностью к самым незначительным (0,000n %) концентрациям примесных элементов в оптически активных центрах (ОАЦ) в минералах. Такие ОАЦ в минералах не только несут информацию о структурно-химическом состоянии минерала, но и являются генетическими индикаторами эволюции минерального вещества, прослеживаемой на атомно-электронном уровне строения кристаллов.

Люминесцентные характеристики большинства изученных нами выделений кальцита из кимберлитов существенно отличаются от таковых минерала некимберлитового происхождения, в первую очередь по интенсивно проявленному в них излучению, связанному с TR-центрами люминесценции. Анализ закономерностей измерения люминесцентных характеристик

кальцита из кимберлитов, группируемых по отдельным диатремам, формам выделений, генерациям, зонам роста, морфологии и минеральным ассоциациям, свидетельствуют о том, что характер и степень проявления в них изученных центров  $O^{2-}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ce^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$  и  $Gd^{3+}$  закономерно связаны с условиями, способом и последовательностью кристаллизации этого минерала. Наиболее интенсивное TR-излучение фиксируется в «низкомарганцевых» кальцитах начальной стадии кристаллизации (внутренние зоны кристаллов, основание щеток и жеод). В самом составе TR-излучения от кальцитов ранних генераций к поздним фиксируется переход от «церий-гадолиний-диспрозиевого» типа к «цериевому» и далее к «классическому». Из этого следует, что эволюция центров излучения в процессе кристаллизации кальцита в пустотно-трещинных образованиях кимберлитов сводится к следующей схеме:  $(O^{2-} + Mn^{2+} + Ce^{3+} + Dy^{3+} + Gd^{3+}) \rightarrow (O^{2-} + Mn^{2+} + Ce^{3+}) \rightarrow (O^{2-} + Mn^{2+})$ . Эволюцию структурно-химического состояния кальцита на более ранних стадиях кристаллизации возможно будет проследить на специально отобранном материале по индикаторному отношению интенсивностей излучения  $Dy^{3+}/Ce^{3+}$ , имеющего максимальные значения в начальной стадии образования минерала. Для выяснения природы источника TR-элементов в кимберлитах, важной является информация установленная в крупнейших мегаксенолитах (рифтах) терригенно-карбонатных вмещающих пород, исследованных нами в верхних горизонтах трубки Удачная. Отмечается увеличение роли TR-центров излучения в кальцитах с падением индикаторного отношения  $O^{2-}/Mn^{2+}$  - тенденция, противоположная таковой в кальцитах из пустотно-жилых образований в кимберлитах этой же диатремы. Роль TR-центров в кальцитах увеличивается в направлении от ранних к более поздним их разновидностям. При этом последовательность кристаллизации кальцита подчеркивается переходом от «классического» двухполосного спектра рентгенолюминесценции (в ранней генерации) к «редкоземельному» (в поздней фазе минерала):  $(O^{2-} + Mn^{2+}) \rightarrow (Mn^{2+} + O^{2-} + Ce^{3+} \pm Dy^{3+} \pm Gd^{3+})$ .

Процесс кристаллизации кальцита в кимберлитовых диатремах был достаточно сложным и многостадийным. Нередко в одной и той же жеоде или друзе выделяется до трех генераций кальцита, отличающихся размерами, морфологическими особенностями, набором включений, типом зональности, окраской и люминесцентными свойствами. Подтверждением устойчивости кальцитсодержащих образований может служить частота встречаемости одних и тех же ассоциаций в различных кимберлитовых телах, типах кимберлитов из сравниваемых горизонтов или участков. Количественные взаимоотношения между минеральными фазами и форма выделений кальцита могут существенно различаться. Образование на изученную глубину различных кимберлитовых диатрем блоков плотных пород связано нередко с процессами наложенной их карбонатизации. В других случаях установлены довольно четкие законо-

мерности в распределении как порообразующих новообразований основной массы (в том числе и кальцита), так и прожилковой гидротермальной минерализации. Особенности распределения кальцита в плане диатремы во многом связаны со степенью постмагматической и гидротермальной измененности пород, что показано при сравнении вещественного состава восточного и западного тел трубки Удачная, где повышенные количества минерала приурочены к приконтактовым частям или к крупным мегаксенолитам вмещающих диатремы пород.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зинчук Н. Н. Карбонатизация кимберлитов при постмагматических процессах // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2017. № 4. С. 63–71.
2. Афанасьев В. П., Елисеев А. П., Надолинный В. А., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Рылов Г. М., Томиленко А. А., Горяинов С. В., Юрьева О. П., Сонин В. М., Чепуров А. И. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидностей (по классификации Ю. Л. Орлова) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2000. № 5. С. 79–97.
3. 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.
4. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логвинова А. Н. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // *Записки Российской минералогического общества*. 2009. Т. 138. № 2. С. 1–13.
5. Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Логвинова А. М., Зинчук Н. Н., Ефимова Э. С., Сафьянников В. И., Красавчиков В. О., Подгорных М. М., Прутов 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.
6. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Минерогения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // *Геология и геофизика*. 1987. № 1. С. 90–96.
7. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Харьков А. Д., Соколов В. Н. Закономерности изменения мантйных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород. Минералогия зоны гипергенеза. М.: Наука, 1980. С. 45–54.
8. Бардухинов Л. Д., Зинчук Н. Н. Алмазы из древних осадочных толщ и их поставщики (на примере Якутской кимберлитовой провинции) // *Руды и металлы*. 2022. № 2. С. 65–86.
9. Братусь М. Д., Сворень И. М., Зинчук Н. Н., Аргунов К. П. Газовые компоненты включений в алмазах различных морфологических типов из Якутии // *Геохимия*. 1991. № 11. С. 1586–1595.
10. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Красавчиков В. О., Будаев Д. А., Кузнецова Л. Г. Критерии петрохимической идентификации кимберлитов // *Геология и геофизика*. 2000. Т. 41. № 12. С. 1748–1759.
11. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г., Минин В. А., Холодова Л. Д. Средние составы кимберлитовых тел Вилюйской субпровинции Якутии как основа для формационной идентификации кимберлитов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2006. № 2. С. 126–140.
12. 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.
13. Василенко В. Б., Кузнецова Л. Г., Зинчук Н. Н. Петрохимическая фактография кимберлитовой провинции Восточной Сибири. Новосибирск: Параллель, 2019. 754 с.
14. 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., Кошкарёв Д. А. Перспективы коренной и россыпной алмазоносности Юго-Западной части Сибирской платформы. Сб.: Геологические аспекты минерально-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.
15. Зинчук Н. Н. Особенности состава и распределения слюдистых образований в кимберлитовых породах Якутии // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 1991. № 7. С. 58–66.
16. Зинчук Н. Н. Особенности минералов слюд в кимберлитах // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2018. № 2. С. 29–39.
17. Зинчук Н. Н. Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе // *Отечественная геология*. 2021. № 2. С. 41–56.
18. Зинчук Н. Н. Докембрийские источники алмазов в россыпях фанерозоя // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2021. № 3. С. 50–61.
19. Зинчук Н. Н. Геологические исследования при поисках алмазных месторождений // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2021. № 4. С. 35–52.
20. Зинчук Н. Н. Роль петролого-минералогических и геохимических исследований в оценке потенциальной алмазоносности кимберлитов // *Отечественная геология*. 2022. № 1. С. 36–47.
21. Зинчук Н. Н. Коры выветривания и их роль в формировании посткимберлитовых осадочных толщ // *Руды и металлы*. 2022. № 2. С. 100–120.
22. Зинчук Н. Н., Афанасьев В. П. Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 1998. № 2. С. 66–71.
23. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. О специфике изучения алмаза при прогнозно-поисковых работах (на примере Сибирской платформы) // *Руды и металлы*. 2021. № 3. С. 59–75.
24. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. Алмазы из низкопродуктивных кимберлитов // *Руды и металлы*. 2022. № 1. С. 77–93.
25. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. О специфике докембрийских источников алмазов в россыпях // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2022. Т. 21. № 2. С. 149–166.
26. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. Алмазы из полупромышленных кимберлитов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2022. № 2. С. 32–45.
27. Зинчук Н. Н., Борис Е. И. О концентрации продуктов переотложения кор выветривания в верхнепалеозойских осадочных толщах восточного борта Тунгусской синеклизы // *Геология и геофизика*. 1981. № 8. С. 22–29.
28. Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Стегницкий Ю. Б. Структурно-формационное и минерогенетическое районирование территорий развития погребенных кор выветривания и продуктов их переотложения в алмазоносных регионах (на примере Якутской кимберлитовой провинции) // *Геология и геофизика*. 1998. Т. 39. № 7. С. 950–964.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П. Апокимберлитовые породы // *Геология и геофизика*. 1987. № 10. С. 66–72.
34. 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.
35. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т. Историческая минералогия в 3-х томах: Т.1. Введение в историческую минералогия. -Воронеж: ВГУ. 2005. 590 с; Т.2. Историческая минералогия древних платформ. -Воронеж: ВГУ. 2007. 570 с; Т.3. Историческая минералогия подвижных суперпооясов. -Воронеж: ВГУ. 2008. 622 с.
36. Кедрова Т. В., Богущ И. Н., Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д., Липашова А. Н., Афанасьев В. П. Россыпи алмазов Наканского поля // *Геология и геофизика*. 2022. Т. 63. № 3. С. 291–302.
37. Квасница В. Н., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. М.: Недра, 1999. 224 с.
38. 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.
39. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдистых минералов // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 1996. № 1. С. 53–61.
40. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 1997. № 2. С. 53–63.
41. 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.
42. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Кристаллохимические и структурные особенности глинистых минералов в корах выветривания в зависимости от типа исходных пород // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. 2001. Т. 76. № 3. С. 69–79.
43. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратиферу // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2003. № 2. С. 57–68.
44. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н., Кузьмин В. А. Морфогенетические разновидности каолинита в корах выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корах выветривания различных

петрохимических типов пород // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 2006. № 5. С. 19–25.

45. Мацок С. С., Зинчук Н. Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. М.: Недра, 2001. 428 с.

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

47. Харьков А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н., Крючков А. И., Уханов А. В., Богатых М. М. Петрохимия кимберлитов. М.: Недра, 1991. 304 с.

48. 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.

49. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L., Natapov L. M.,

Matuchyan G. A. Diamond prospects in the Southwestern plinkt of the Tungusk Sineklise // *Geology of ore Deposits*. 2005. Vol. 47. No. 1. P. 45–62.

50. 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. P. 1297–1301.

51. Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N. Comparative analysis of clay Mineral evolution under the Conditions of humid and arid Lithogenesis // *Russian Geology and Geophysics*. 2008. No. 10. pp. 121–144.

52. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Vorcanism of the Siberian Platform // *Petrology*. 2001. Vol. 9. No. 6. P. 576–588.

UDC 553.251.552.323.6

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/28-43>

Received: 25.02.2023

Accepted: 24.05.2023

Published online: 30.06.2023

ISSN 1609-0691

## Features of calcite from kimberlite rocks

©2023 N. N. Zinchuk<sup>✉</sup>

*West-Yakutian Scientific Centre of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), 5/1 Tikhonova ul., Mirny, 678170, Russian Federation*

### Abstract

*Introduction:* A characteristic feature of kimberlite bodies, established on the ancient platforms of the world, is the significant variability of the parameters of their material composition. The high gradient of variability of material features in the volume of kimberlite bodies is largely associated with the polygenicity and heterochronism of the components of the rocks that make up the pipes, covering the range of formation conditions from the upper mantle (through the pneumatolytic-hydrothermal stage) to hypergenesis. A significant role in the formation of the final appearance of kimberlites belongs to the environment containing the diatreme (composition and mechanical properties of the host rocks). The dependence of the petrophysical, petrochemical, geochemical, and mineralogical features of kimberlites on the composition and mechanical properties of the host rocks should be taken into account when predicting and searching for primary diamond deposits. Under the influence of host rocks, the chemical composition of kimberlites can become significantly different from the usual primary composition, and therefore the chemical criterion can lose its diagnostic role. The petrophysical properties of kimberlite rocks largely depend on the degree of postmagmatic and supergene alterations, the main mineral among which is calcite. In the present study, the characteristics of calcite, the dominant, rock-forming mineral of the carbonate class in kimberlites, are provided. *Materials and Methods, Results:* Calcite is one of the most common carbonates in the kimberlite rocks of the Siberian Platform. Such common distribution was largely facilitated by the terrigenous-carbonate composition of the strata containing the diatremes. The mineral is detected in kimberlites in the form of grains and aggregates in the rocks, veins and bonny, spherical segregations, druses, geodes, and brushes. Several varieties of the mineral dominate in the pipes: a) early (deep) primary magmatic calcite (inclusions in deep minerals); b) deep metasomatic calcite - a product of upper mantle metasomatism of rocks and minerals; c)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

<sup>✉</sup> Nikolay N. Zinchuk, e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

kimberlite calcite, the crystallization of which is associated with various stages of postmagmatic and supergene transformation of rocks. Calcite can be attributed to the continuous polygenic minerals of the kimberlite process, a comprehensive study of which can provide new information about the nature and specifics of this process at different stages of the formation of kimberlite bodies (pipes, dikes, and sills). The heterogeneous nature of Ca and CO<sub>2</sub> in calcites and multi-stage processes of calcite formation in kimberlites was noted. The process of crystallization of calcite in kimberlites is very complex and multistage. Often, within a single geode, several generations of calcite are distinguished, differing in size, morphological features, set of inclusions, zoning type, colour, and luminescent properties. The obtained typomorphic features of calcite from kimberlites can be successfully used to improve technological methods for extracting diamonds from rocks, and in redeposited form in sedimentary strata as an additional search criterion.

*Conclusions:* Now, the information content and typomorphic significance of the microcomposition and properties of calcite from kimberlite rocks, which to a certain extent complicates their use as genetic indicators of the conditions of kimberlite formation are important and fundamental issues. The quantitative relationships between the mineral phases and the form of calcite segregations can differ significantly. Regularities in the distribution of both rock-forming neoformations of the groundmass (including calcite) and hydrothermal mineralization of veins were established at the depth of the studied diatremes. Features of the distribution of calcite in terms of diatremes are often associated with the degree of postmagmatic and hydrothermal alteration of rocks.

*For citation:* Zinchuk N. N. Features of calcite from kimberlite rocks // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 2, pp. 28–43. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/28-43>

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

#### REFERENCES

- Zinchuk N. N. Karbonatizacija kimberlitov pri postmagmaticeskix processax [Carbonatization of kimberlites in postmagmatic processes]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2014, no. 4, pp. 63–71 (In Russ.)
- Afanas'ev V. P., Eliseev A. P., Nadolinniy 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 genezisa almazov V i VII raznovidnostei (po klassifikatsii Yu. L. Orlova) [Mineralogy and some issues of the genesis of V and VII 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.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Poligenez almazov v svyazi s problemoi korennykh rossypei severo-vostoka Sibirskoi platform [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.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Logvinova A. N. Osobennosti raspredeleniya rossypanykh 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.)
- Afanas'ev V. P., Pokhilenko N. P., Logvinova A. M., Zinchuk N. N., Efimova E.S., Sa'f'yannikov V.I., Krasavchikov V.O., Podgornyykh M.M., Prugov V.P. Osobennosti morfologii i sostava nekotorykh khromshpindelidov amazonosnykh ploshchadei v svyazi s problemoi «lozhnykh» indikatorov kimberlitov [Features of the morphology and composition of some chromespinels 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.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N. Mineralogiya drevnykh rossypei almazov 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.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Har'kiv A. D., Sokolov V. N. Zakonomernosti izmeneniya mantijnykh mineralov v kore vyvetrivanija kimberlitovykh porod [Regularities of mantle minerals alteration in the crust of weathering of kimberlites]. *Mineralogija zony gipergeneza* [Minerageny of hypergenesis zone]. Moscow, Nauka publ., 1980, pp. 45–54 (In Russ.)
- Barduchinov L. D., Zinchuk N. N. Almazы iz drevnykh osadochnykh tolshh i ih postavshhiki (na primere Jakutskoj kimberlitovoj provincii) [Diamonds in old sedimentary rocks and their source (on the basis of Yakutia kimberlite province)]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2022, no. 2, pp. 65–86 (In Russ.)
- Bratus' M.D., Svoren' I.M., Zinchuk N.N., Argunov K.P. Gazovye komponenty vključenij v almazah razlichnykh morfologicheskikh tipov iz Jakutii [Gas components of inclusions in diamonds of various morphological types from Yakutia]. *Geohimija – Geochemistry*, 1991, vol. 11, pp.1586–1595 (In Russ.)
- Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Krasavchikov V.O., Budaev D.A., Kuznecova L.G. Kriterii petrohimičeskoj identifikacii kimberlitov [Criteria for petrochemical identification of Kimberlites]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 2000, vol. 41, no. 12, pp.1748–1759 (In Russ.)
- Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznecova L. G., Minin V. A., Holodova L. D. Srednie sostavy kimberlitovykh tel Viljujskoj subprovincii Jakutii kak osnova dlja formacionnoj identifikacii kimberlitov [Average compositions of kimberlite bodies of the Viluis sub-province of Yakutia as the basis for the formation identification of kimberlites]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2006, no. 2, pp. 126–140 (In Russ.)
- Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. Geodinamičeskii kontrol' razmeshčeniya kimberlitovykh polei tsentral'noi i severnoi chastei Jakutskoi kimberlitovoi provincii (petrohimičeskii 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.)
13. Vasilenko V. B., Kuznecova L. G., Zinchuk N. N. *Petrohimicheskaja faktografija kimberlitovoj provincii Vostochnoj Sibiri* [Petrochemical factographi of the kimberlite province of Eastern Siberia]. Novosibirsk: Parallel, 2019. 754 p. (In Russ.)
14. 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 khromshpinelidov almazonosnykh ploshchadei v svyazi s problemoi «lozhnykh» indikatorov kimberlitov [Features of the morphology and composition of some chrome-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.)
15. Zinchuk N. N. Osobennosti sostava i raspredelenija sljudistykh obrazovaniy v kimberlitovykh porodah Jakutii [Specific features of composition and distribution of micaceous formations in kimberlite rocks of Yakutia]. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Geologija i razvedka – News of HEI. Geology and exploration*, 1991, no.7, pp. 58–66 (In Russ.)
16. Zinchuk N. N. Osobennosti mineralov sljud v kimberlitah [Features of micaceous Formations in kimberlite]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2018, no. 2, pp. 29–39 (In Russ.)
17. Zinchuk N. N. Tipomorfnye svojstva indikatornykh mineralov kimberlitov i ih ispol'zovanie pri prognozirovanii mestorozhdenij almaza na Sibirskoj platforme [Tipomorphic properties of kimberlite indicator minerals and their use in forecasting diamond deposits on the Siberian platform]. *Otechestvennaja geologija – Otechestvennaja geologija*, 2021, no. 2, pp. 41–56 (In Russ.)
18. Zinchuk N. N. Dokembrijskie istochniki almazov v rossypjah fanerozoja [Precambrian sources of Diamonds in Phanerozoic placers]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2021, no. 3, pp. 50–61 (In Russ.)
19. Zinchuk N. N. Geologicheskie issledovaniya pri poiskah almaznykh mestorozhdenij [Geological research in Prospecting for Diamond deposits]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2021, no. 4, pp. 35–52 (In Russ.)
20. Zinchuk N. N. Rol' petrologo-mineralogicheskikh i geohimicheskikh issledovaniy v ocenke potencial'noj almazonosnosti kimberlitov [The role of petrological-mineralogical and mineralogical and geochemical shoties in assessing the potential diamond content of kimberlites]. *Otechestvennaja geologija – Otechestvennaja geologija*, 2022, no. 1, pp. 36–47 (In Russ.)
21. Zinchuk N. N. Kory vyvetrivanija i ih rol' v formirovanii postkimberlitovykh osadochnykh tolshh [Weathering crusts and their role information of post kimberlite fedimentary sequences]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2022, no. 2, pp. 100–120 (In Russ.)
22. Zinchuk N. N., Afanas'ev V. P. Geneticheskie tipy i osnovnye zakonomernosti formirovanija almazonosnykh rossypej [Genetic types and basis pafferns of diamondiferous pacer formation]. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Geologija i razvedka – News of HEI. Geology and Exploration*, 1998, no. 2, pp. 66–71 (In Russ.)
23. Zinchuk N.N., Barduhinov L.D. O specificke izuchenija almaza pri prognozno-poiskovykh rabotah (na primere Sibirskoj platformy) [Diamond study features in forecasting and prospecting (Siberian platform)]. *Rudy i metally – Ores and metals*. 2021, no. 3, p. 59–75 (In Russ.)
24. Zinchuk N.N., Barduhinov L.D. Almazy iz nizkoproduktivnykh kimberlitov [Diamonds from kimberlites with Half-industrial productivity]. *Rudy i metally – Ores and metals*. 2022, no. 1, p. 77–93 (In Russ.)
25. Zinchuk N.N., Barduhinov L.D. O specificke dokembrijskikh istochnikov almazov v rossypjah [About specific of the Precambrian Sources of placer Diamonds]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Perm State University. Series: Geology*, 2022, vol. 21, no. 2, pp. 149–166 (In Russ.)
26. Zinchuk N. N., Barduhinov L. D. Almazy iz polupromyshlennykh kimberlitov [Diamonds from semb-industrial kimberlites]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 2, pp. 32–45 (In Russ.)
27. Zinchuk N.N., Boris E.I. O koncentracii produktov pereotlozhenija kor vyvetrivanija v verhnepaleozojskikh osadochnykh tolshhah vostochnogo borta Tungusskoj sineklizy [Concentration of Weathering crust vedeposition products in the Upper Peleozoic sedimentary strata of the eastern side of the Tunguska syneclise]. *Geologija i geofizika – Geology and geophysics*, 1981, no. 8, pp. 22–29 (In Russ.)
28. Zinchuk N. N., Boris E. I., Stegnickij Ju. B. Strukturno-formacionnoe i mineragenicheskoe rajonirovanie territorij razvitiya pogrebennykh kor vyvetrivanija i produktov ih pereotlozhenija v almazonosnykh regionah (na primere Jakutskoj kimberlitovoj provincii) [Structural-formational and mineragenetic zoning of the territory of buried crusts of weathering and products of their redeposition in diamondiferous regions (on the example of Yakutian kimberlite province)]. *Geologija i geofizika – Geology and geophysics*, 1998, vol. 39, no. 7, pp. 950–964 (In Russ.)
29. Zinchuk N. N., Zinchuk M. N., Kotel'nikov D. D., Shlykov V. G., Zhuhlistov A. P. Strukturno-kristallohimicheskije preobrazovaniya sloistykh mineralov na raznykh stadijah gipergennogo izmenenija kimberlitov [Structural and crystal-chemical transformations of layered minerals at different stages of hypergenic kimberlite changes]. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Geologija i razvedka – Izvestiya Visch. Ucheb. Saved. Geologija and razvedka*, 2002, no. 1, pp. 47–60 (In Russ.)
30. Zinchuk N. N., Zuev V. M., Koptil' V. I., Chjornyj S. D. Strategija vedenija i rezul'taty almazoposkovykh rabot [Diamond management strategy and results]. *Gornyj vestnik – Gornyy vestnic*, 1997, no. 3, pp. 53–57 (In Russ.)
31. Zinchuk N. N., Kotel'nikov D.D., Gorshkov A. I. Identifikatsiya i genesis 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]. *Litologija i poleznye iskopaemye – Lithology and Minerals*, 2003, no. 1, pp. 87–96 (In Russ.)
32. Zinchuk N.N., Kotel'nikov D.D., Sokolov V.N. Izmenenie mineral'nogo sostava i strukturnykh osobennostej kimberlitov Jakutii v processe vyvetrivanija [Changes in the mineral composition and structural features of kimberlites of Yakutia during weathering]. *Geologija i geofizika – Geologija and geophizika*, 1982, no. 2, pp. 42–53 (In Russ.)
33. Zinchuk N. N., Mel'nik Yu. M., Serenko V. P. Apokimberlitovye porody [Apokimberlite rocks]. *Geologija i geofizika – Geology and geophysics*, 1987, no. 10, pp. 66–72 (In Russ.)
34. 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.)

35. 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 drevnikh 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.)
36. Kedrova T. V., Bogush I. N., Zinchuk N. N., Barduhin L. D., Lipashova A. N., Afanas'ev V. P. Rossypi almazov Nakynskogo polja [Diamond placers of the Nakin kimberlite]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2022, vol. 63, no. 3, pp. 291–302 (In Russ.)
37. Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. *Tipomorfizm mikrokrystallov almaza* [Typomorphism of diamond microcrystals]. Moscow, Nedra publ., 1999, 224 p. (In Russ.)
38. Kotel'nikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N. Osnovnye zakonomernosti vyvetrivanija 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.)
39. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Tipomorfnye oso-bennosti 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.)
40. 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.)
41. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov votlozheniyakh 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.)
42. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Kristallohimicheskie i strukturnye osobennosti glinistykh mineralov v korah vyvetrivanija v zavisimosti ot tipa ishodnykh porod [Crystal-chemical and structural features of clay minerals in weathering crusts depending on the type of source rocks]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel geologichesk – Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geological department*, 2001, vol. 76, no. 3, pp. 69–79 (In Russ.)
43. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Ob anomalii obshhej shemy preobrazovaniya razbuhajushhih glinistykh mineralov pri pogru-zhenii sodержashhih ih otlozhenij v stratisferu [On the anomaly of the general scheme of transformation of swelling clay minerals when the sediments containing them are immersed in the stratosphere]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2003, no. 2, pp. 57–68 (In Russ.)
44. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N., Kuz'min V. A. Morfo-geneticheskie raznovidnosti kaolinita v korah vyvetrivanija i osadochnom chehle zemnoj kory. Stat'ja 1. Mehanizm obrazovaniya kaolinita v korah vyvetrivanija razlichnykh petrohimi-cheskikh tipov porod [Morphogenetic varieties of kaolinite in weathering crusts and sedimentary cover of the Earth's crust. Article 1. The mechanism of kaolinite formation in the weathering crusts of various petrochemical types of rocks] *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka – Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2006, no. 5, pp. 19–25 (In Russ.)
45. 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.)
46. Har'kiv A. D., Zinchuk N. N., Krjuchkov A. I. *Korennye mestorozhdenija almazov Mira* [Primary diamond deposits of the World]. Moscow, Nedra publ., 1998, 555 p. (In Russ.)
47. Har'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.)
48. Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotel'nikov D. D. Primenenie klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonomernostei vyvetrivanija 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.)
49. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Griffin V. L., Natapov L. M., Matuchyan G. A. Diamond prospects in the Southwestern plinkt of the Tungusk Sineklise. *Geology of ore Deposits*, 2005, vol. 47, no. 1, pp. 45–62.
50. 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.
51. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Comparative analysis of clay Mineral evolution under the Conditions of humid and arid Lithogenesis. *Russian Geology and Geophysics*, 2008, no. 10, pp. 121–144.
52. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Vorcanism of the Siberian Platform. *Petrology*, 2001, vol. 9, no. 6, pp. 576–588.

Зинчук Николай Николаевич, д.г.-м.н., проф., академик Академии наук РС (Якутия), председатель ЗЯНЦ АН РС (Якутия), Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; e-mail: nnzinchuk@rambler.ru; ORCID 0000-0002-9682-3022

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Nikolay 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), RF; e-mail: nnzinchuk@rambler.ru; ORCID 0000-0002-9682-3022

Author have read and approved the final manuscript