

Кремнистые минералы в кимберлитах

©2022 Н. Н. Зинчук[✉]

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

Аннотация

Введение. На древних платформах Мира открыто несколько тысяч кимберлитовых тел (трубок, даек и жил), имеющих различную форму и размеры. В строении трубчатых (диатремовых) структур выделяют: а) раструб или воронкообразное расширение, венчающееся у неэродированных вулканических аппаратов кольцевым валом (кратерная зона); б) вертикальный канал (диатремовая зона); в) подводный канал в виде одного или нескольких дайковых тел (корневая зона). Каждая из названных зон кимберлитовой постройки характеризуется особой морфологией, текстурно-структурными особенностями и вещественным составом пород, механизмом формирования, что позволяет каждую из выделяемых трех зон кимберлитовой системы рассматривать как самостоятельный геологический объект. Концентрация вторичных минералов (в т.ч. интенсивность окремнения пород) обычно более высокая в верхних частях диатрем из-за влияния материала вмещающих пород и повышенной степени трещиноватости, а также вследствие преобразования под действием гипергенных процессов.

Объекты, методология исследований, основные результаты и их интерпретация. Для кимберлитовых пород древних платформ мира довольно характерными вторичными минералами являются кварц и халцедон, наибольшие концентрации которых обычно приурочены к верхним частям диатрем, в различной степени затронутых гипергенными процессами. Встречается как бесцветный кварц, так и окрашенный в различные оттенки бурого, серого и фиолетового цвета. Присутствие среди кварцев верхних частей кимберлитовых трубок аметистовидных выделений, позволяет отнести большую часть присутствующих в таких породах кремнеземистых минералов к низкотемпературным образованиям, что подтверждается и термобарогеохимическими исследованиями кристаллов. При сравнительном изучении кварца наиболее информативными являются его люминесцентные характеристики, отражающие особенности структурной и примесной микродефектности этих природных образований и соответственно физико-химические параметры кварцеобразующих сред. Довольно распространенным минералом в кимберлитах (особенно в верхних частях диатрем) является и халцедон, который нередко присутствует в нижних частях друз кристаллов кварца, выполняя роль своеобразной подложки. Часто халцедон образует псевдоморфозы по другим минералам и их кристаллам. На условия кристаллизации локальных гнездовидных выделений кварца (в том числе и аметистовидного) существенно влияют вмещающие диатремы породы, а также состав флюидов, принимающих участие в гидротермально-метасоматическом преобразовании кимберлитов.

Заключение. Показано большое разнообразие кварцев в кимберлитовых породах как Сибирской, так и других древних платформ мира. Особенно много скоплений довольно крупных друз фиолетового аметистовидного кварца отмечалось при отработке верхних горизонтов диатрем. В кимберлитах нижних горизонтов этих же трубок пустоты встречаются реже, а кварцевая минерализация практически исчезает. Это позволяет утверждать, что друзы кварца (особенно аметистовидного)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

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

образовались в процессе гипергенеза за счет мобилизации и отложения кремнезема. Преобладание кристаллических друз кварца с кальцитом к верхним горизонтам диатрем имеет большое прикладное значение, подчеркивая степень денудированности трубок, а при размыве и переотложении в бассейны седиментации специфические выделения минерала (особенно их аметистовидные разновидности) могут использоваться и при определении источников сноса магматического материала, стратиграфических и палеогеографических реконструкций. Интенсивность гидротермально-метасоматических процессов в кимберлитовых диатремах сами по себе не могли создать крупных полостей со свободно растущими кристаллами кварца. На условия кристаллизации локальных гнездовидных выделений кварца (в том числе и аметистовидных кристаллов) сильно влияли вмещающие диатремы породы, а также состав флюидов, принимавших участие в формировании минеральных ассоциаций, на которые нарастает кварц. Сильное локальное влияние вмещающих диатремы пород в условиях отсутствия крупных полостей, низкие парциальные давления CO_2 в сочетании с пониженными температурами кристаллизации определили специфику структурной и примесной микродефектности, что в конечном итоге отразилось в уменьшенных значениях люминесцентных характеристик кварцев из кимберлитов (в том числе и аметистовидных) по сравнению с минералом из других источников.

Ключевые слова: кимберлиты, кварц, халцедон, процессы минералообразования.

Для цитирования: Зинчук Н. Н. Кремнистые минералы в кимберлитах // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2022. № 4. С. 38–52. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/38-52>

Введение

На древних платформах Мира открыто несколько тысяч кимберлитовых тел (трубок, даек и жил), имеющих различную форму и размеры. В строении трубчатых (диатремовых) структур выделяют: а) раструб или воронкообразное расширение, венчающееся у неэродированных вулканических аппаратов кольцевым валом (кратерная зона); б) вертикальный канал (диатремовая зона); в) подводящий канал в виде одного или нескольких дайковых тел (корневая зона). Каждая из названных зон кимберлитовой постройки характеризуется особой морфологией, текстурно-структурными особенностями и вещественным составом пород, механизмом формирования [1–7], что позволяет каждую из выделяемых трех зон кимберлитовой системы рассматривать как самостоятельный геологический объект. Кратерные фации кимберлитов, залегающие в самых верхних частях неэродированных трубок, представлены двумя генетическими типами пород: пирокластическими и эпикластическими. Последние образовались за счет эрозии и последующего переотложения пирокластического материала, выброшенного за пределы кратера, а также за счёт размыва участков породы внутри кратера. В их составе присутствует также материал дезинтегрированных вмещающих диатремы пород. В отличие от этого в диатремовых зонах кимберлитовых систем развиты брекчиевые породы, содержащие большое количество ксенолитов вмещающих толщ. Здесь также присутствуют ксенолиты различных глубинных пород и за счет их дробления минералы.

Корневые зоны сложены массивными кимберлитами, а также их брекчиями. Из перечисленных трех зон кимберлитовой системы самой продуктивной является диатремовая, где заключена основная масса алмазонасной породы [8–16]. Алмазонасность самых верхних частей диатрем (где они сохранились), вы-

полненных осадочно-вулканогенными образованиями, всегда в несколько раз меньше, чем более глубоких их частей. В лежащих ниже вулканогенных породах раструба, представленных кимберлитовыми туфами (КТ) и эруптивными кимберлитовыми брекчиями (ЭКБ) содержание алмазов повышается, хотя и здесь оно в значительной степени зависит от количества ксеногенного материала вмещающих пород. Обычно понижено содержание алмазов в приконтактных зонах трубок, особенно прилегающих к пологим контактам. Содержание алмазов в породах подводящего канала диатрем предполагается ниже, чем в вертикальном канале вследствие частичного уничтожения (окисления, растворения) в условиях метастабильного их нахождения. Концентрации вторичных минералов (новообразований) обычно повышено в верхних частях диатрем из-за влияния материала вмещающих пород и повышенной степени трещиноватости, а также вследствие преобразования под действием гипергенных процессов.

Объекты, методология исследований, результаты и их интерпретация

Характерной чертой кимберлитовых тел Сибирской (СП), Восточно-Европейской (ВЕП), Южно-Африканской (ЮАП) и других платформ мира является [17–21] значительная изменчивость параметров их вещественного состава. Высокий градиент изменчивости вещественных признаков в объеме кимберлитовых тел во многом связан с полигенностью и гетерогенностью компонентов самих слагающих трубки пород, охватывающих диапазон образования от верхней мантии (через пневматолитово-гидротермальную стадию) до гипергенеза. В целом многообразие происходящих в трубчатых диатремах процессов изменения кимберлитов с некоторой долей условности можно отнести к диафторезу [22–26].

Обычно под диафторезом понимают регрессивное минералогическое преобразование, происходящее в процессе приспособления магматических и метаморфических пород к новым условиям более низких ступеней метаморфизма. Определяющим фактором диафтореза являются масса поступающих в систему минералообразования извне H_2O и CO_2 в процессе регрессивного метаморфизма.

В целом таким свойствам в приближенном виде соответствуют особенности постмагматического преобразования кимберлитовых пород. Сложность и контрастность минерального облика реальных кимберлитовых пород в значительной степени обусловлены [27–31] развитием большого комплекса вторичных минералов, которых в кимберлитах диагностировано и изучено более полусотни. Установление места и роли каждого из вторичных минералов (входящих в классы силикатов, карбонатов, оксидов и гидрооксидов, сульфидов, сульфатов, фосфатов и галогенидов), реконструкция последовательности их образования, устойчивости в различных условиях имеют важное значение для понимания природы и преобразования кимберлитовых пород [32–38]. Повышенного внимания заслуживают те типы и разновидности кимберлитовых пород, макроскопическая диагностика которых сильно затруднена в связи с интенсивными метасоматическими, пневматолитово-гидротермальными и гипергенными преобразованиями или принадлежащие к специфическим кратерным фациям.

Для кимберлитовых пород (особенно в регионах,

где вмещающими диатремы породами являются обогащенные кремнеземом толщи) характерными минералами являются кварц и халцедон, содержание которых в целом невелико и приурочены они, как правило, к верхним частям тел. Иногда (трубка Мир, Зарница и др.) кремнистые минералы рассеяны преимущественно в основной массе пород, однако и в таких диатремах в верхних частях встречаются самостоятельные выделения кварца и халцедона [39–44]. Водянопрозрачные кристаллы *кварца* (длиной до нескольких миллиметров) обычно ориентированы в различных направлениях (рис. 1а–с). Вместе с кварцем здесь растут лучистые агрегаты халцедона. На гранях призм и ромбоэдров кварца нарастают «ёжики» и «метелки» гётита. Встречаются также друзы бледно-фиолетового кварца, располагающиеся на прослойках халцедона, а при отсутствии последнего друзы обычно нарастают на кимберлите. Между халцедоном и кварцем, как правило, встречаются линзы и прожилки пирита. В отдельных случаях друзы кварца покрыты сепиолитом, рост волокон которого начался ещё до окончания роста первого минерала. В верхних горизонтах некоторых диатрем (Удачная, Юбилейная и др.) кварц также отмечен в виде единичных кристаллов (рис. 2). Но и в таких случаях многочисленные друзы его встречаются в полостях между сферическими образованиями коричневого кальцита. Нередко минерал образует прокладки между кальцитом различных генераций. Здесь он обычно окрашен в бурые (гидроксидами железа) и серые (сульфидами железа) тона.

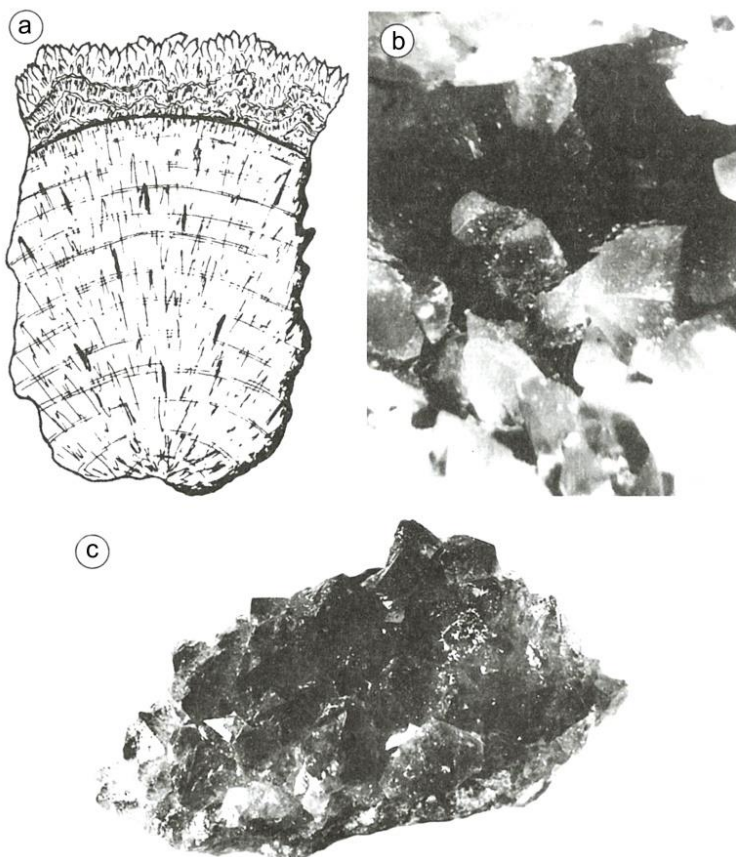


Рис. 1. Формы выделений кварца в кимберлитовых породах трубки Удачная (СП): *a* – фрагмент сферического образования кальцита с корочкой халцедона, на которую нарастает друза кварца; *b* – друза фиолетового кварца с вростками сульфидов железа; *c* – выделения полупрозрачного кварца в пустотах кимберлитовых пород (*a–c* – натуральная величина).
[Ris. 1. Forms of quartz precipitates in kimberlite rocks of the Udachnaya pipe (SP): (*a*) – fragment of a calcite spherical formation with an incrustation of chalcedony, on which quartz druses are growing; (*b*) – druse of purple quartz with iron sulphide interpositions; (*c*) – precipitates of translucent quartz in voids of kimberlite rocks ((*a–c*) life-size).]

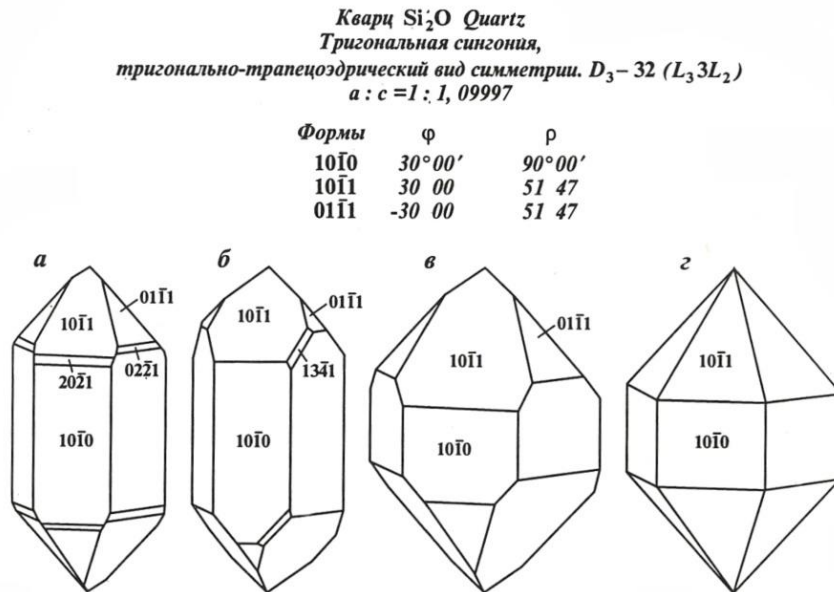


Рис. 2. Морфологические типы кристаллов кварца из кимберлитовых пород.
[**Ris. 2.** Morphological types of quartz crystals from kimberlite rocks.]

Чаще других встречается неравномерно окрашенный фиолетовый кварц, напоминающий аметист. Эта фиолетовая окраска исчезает при нагревании до 290–300°C. Температура гомогенизации обнаруженных газовой-жидких включений также довольно высокая (выше 300°C). В отдельных диатремах в верхних частях (Сытыканская, Юбилейная и др.) кварц образует на стенках трещин и полостей выщелачивания щётки и друзы, а также заполняет редкие маломощные прожилки. Его кристаллы размером 0.2–10 мм чаще всего бесцветные, но иногда имеют бледно-фиолетовую и светло-жёлтую окраску. Эти кристаллы обычно короткостолбчатые (см. рис. 2), столбчатые и направлены в различные стороны, но нередко ориентированы в одном направлении. Головки кристаллов в последнем случае образуют щетковидные агрегаты [43–48]. Простыми формами кристаллов являются (см. рис. 2) ромбоэдри и гексагональная призма. В основной массе кимберлитов кварц отмечается сравнительно редко; лишь иногда его содержание достигает 10 %, что связано с образованием в отдельных участках кимберлитовой брекчии кварц-серпентиновых псевдоморфоз по оливину первой генерации. В таких смесях минерал идентифицируется на рентгеновских дифрактограммах серий рефлексов: 0.425; 0.334; 0.245; 0.213; 0.182 и 0.154 нм.

Даже в регионах, где вмещающими трубками породами являются терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя (к таковым относится Сибирская платформа – СП), эти минералы являются типичными новообразованиями, особенно в верхних частях диатрем. Так, в кимберлитах трубки Удачная (Далдыно-Алаakitский алмазоносный район – ДААР) повышенные концентрации кварца приурочены [48–51] не только к самым верхним её горизонтам (особенно к сильно выветрелым частям западного тела), но и к приконтактовым зонам

на более глубоких горизонтах. Кварц часто встречается вместе с кальцитом и другими вторичными минералами, образуя щётки, жилы и прожилки. Нередко кристаллы кварца на кварц-опал-халцедоновой подложке наблюдаются непосредственно на измененной в различной степени кимберлитовой породе. Размеры, форма и морфология кварцевых индивидов самые разнообразные (см. рис. 1а–с). Характерная особенность большинства изученных нами кристаллов кварца – скульптурированность всех граней, обусловленная [36–41] процессами растворения, а также наличием многочисленных включений пирита, марказита, гётита и других вторичных минералов.

В кимберлитовых породах встречается как бесцветный кварц, так и окрашенный в различные оттенки бурого, серого и фиолетового цвета. Бурые и серые цвета минерала аллохроматические и обусловлены [18–24] механическими примесями гидроксидов железа (бурые) или микровключениями сульфидов железа (серые). Проведенные нами [9] исследования особенностей люминесценции кварца из кимберлитов трубки Удачная показали (рис. 3, обр. 1), что в спектрах оптического поглощения с максимумом в области 535–540 нм присутствует, характерная обычно для классических аметистов [20–22]. С увеличением температуры отжига аметистовая окраска кварцев постепенно ослабевает и при 600° С исчезает. Однако в некоторых выделениях аметиста отжиг приводит к необратимой замене первичной окраски светло-жёлтой (цитриновой), которая при дальнейшем повышении температуры также исчезает. Этот эффект отмечается в некоторых аметистах из других (некимберлитовых) месторождений [18–21]. В кварцах из кимберлитов трубки Удачная вторичная цитриновая окраска при отжиге появляется также и у некоторых первоначально серых разновидностей. Спектры по-

глошения желтых разновидностей бурых кварцев (рис.3, обр. 2) показывают, что их окраска обусловлена интенсивным поглощением в ультрафиолетовой области, край которого захватывает и видимую часть спектра. Такое поглощение в УФ-области связывают [23] с неструктурными примесями оксидов железа и подобные кварцы обычно называют «железистыми цитринами», в отличие от цитринов с радиационной природной окраской [18]. Эксперименты по отжигу разноокрашенных кварцев из кимберлитов верхних горизонтов трубки Удачная показали [23], что бурая и желтая окраска минерала сохраняется при 30-минутном отжиге при температуре до 800° С.

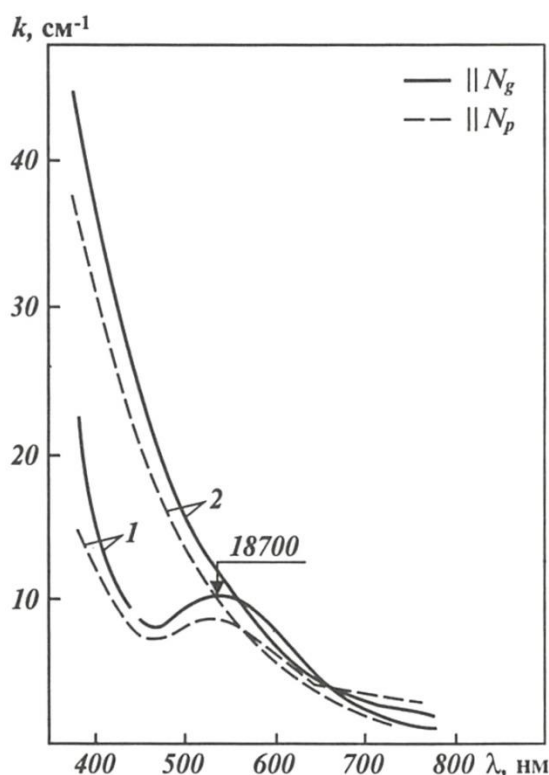


Рис. 3. Поляризованные спектры оптического поглощения светло-красно-пурпурного (1) и светло-желтого (2) кварца из кимберлитовых пород трубки Удачная.

[**Рис. 3.** Polarised optical absorption spectra of light red-purplish (1) and light yellow (2) quartz from kimberlite rocks of the Udachnaya pipe.]

При сравнительном изучении кварца различного генезиса из разнообразных пород наиболее информативными являются [18, 21] его люминесцентные характеристики, отражающие особенности структурной и примесной микродефектности его природных образцов и соответственно физико-химические параметры кварцеобразующих сред. С этой целью нами детально изучены люминесцентные характеристики кварца из трубки Удачная [7, 12, 23], различающиеся по цвету, размерам и формам выделения, проводя при этом сравнение [19, 24] с аналогичными характеристиками минерала из других генетических типов из различных месторождений СП и ВЕП, Урала, Коль-

ского полуострова и других регионов. Это позволило получить новые данные по рентгено-люминесценции (РЛ), природной термолюминесценции (ПТЛ) и индуцированной (наведенной рентгеновским излучением) термолюминесценции (ИТЛ). Кривые ПТЛ аметистовидных, цитриновых и других окрашенных и бесцветных разновидностей кварца (рис. 4а) из кимберлитов трубки Удачная (как и кварцев других генетических типов пород) чаще всего характеризуются одним пиком с максимумом свечения в области 265–290° С. Изредка наблюдается второй, более высокотемпературный пик с максимумом при 300–290° С. Природа пиков термолюминесценции (ТЛ) в этом диапазоне температур интерпретируется неоднозначно. Одна группа исследователей объясняет пик ТЛ при 250–280°С собственными дефектами структуры кварца, в то время как другие исследователи связывают максимум свечения в этой области с примесями переходных металлов (Al, Ti, Mn, Fe и др.). Однако в большинстве случаев природу максимумов свечения в этой области объясняют вхождением в структуру кварца примесных ионов Ge, Al и щелочей Na, Li. Характерной особенностью ПТЛ кварца из трубки Удачная является низкая интенсивность свечения ($I_{ПТЛ} < 10$ усл. ед.), что отличает его от большинства изученных разновидностей кварца из других пород.

На кривых ИТЛ кварцев чаще всего наблюдаются (рис. 4b) один-два максимума свечения в низкотемпературной (< 200°С) и в более высокотемпературной области. Низкотемпературные пики (100–130°С) неустойчивы и со временем их интенсивность быстро уменьшается, что связывают [23] со структурной дефектностью кристаллов кварца. Происхождение высокотемпературных пиков с максимумами свечения при температурах выше 200° С чаще всего объясняется структурными примесями отдельных элементов. Интенсивность ИТЛ кварца из кимберлитовых пород трубки Удачная также очень слабая ($I_{ИТЛ} = n10$ усл. ед.). Незначительную интенсивность свечения в низкотемпературной области связывают [23] с относительным совершенством структуры изученных образцов, а в высокотемпературной – с незначительным содержанием структурных примесей Al, Na и Li. В «синеголубой» области спектров РЛ кварца (рис. 5) наблюдается большое число полос излучения (λ_{max} 365–380, 400–420, 430–445 и 460–490 нм), что довольно редко отмечается у природных разновидностей кварца. Полосу с $\lambda_{max} = 470–480$ нм обычно связывают с излучением на собственных центрах – дефектах решетки типа кислородной вакансии, а полосу $\lambda_{max} = 360–380$ нм – с неустойчивыми тепловыми дефектами структуры. В спектрах РЛ кварца из кимберлитовой трубки Удачная наблюдаются также полосы с максимумами в области 510–540 нм. Постоянно присутствует также доминирующая полоса излучения при $\lambda_{max} = 700$ нм, связанная с центрами Fe^{3+}_{IV} , реже – полоса 410–430 нм. Эти полосы наиболее типичны для светлоокрашенных аметистов, особенно для разновидностей, содержащих незначительное количество газово-жидких включений.

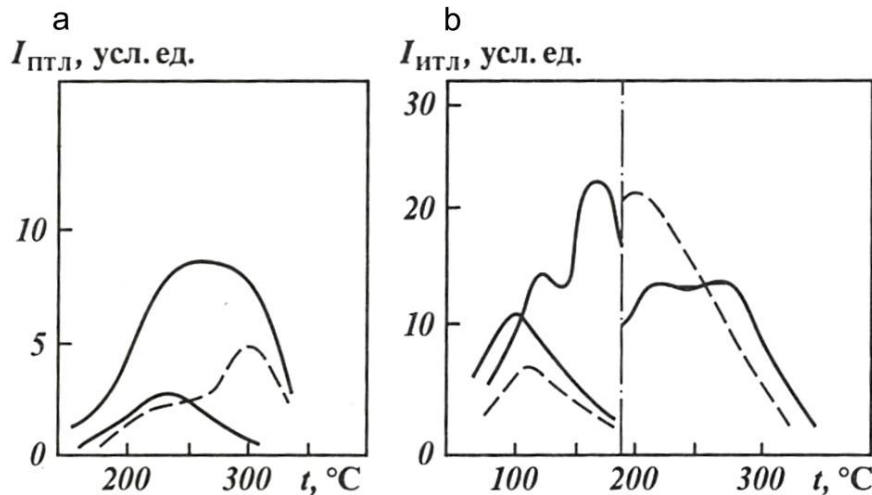


Рис. 4. Типичные формы кривых ПТА (а) и ИТЛ (b) из кимберлитовых пород трубки Удачная.
[Ris. 4. Typical shapes of natural thermoluminescence (a) and induced thermoluminescence (b) curves from kimberlite rocks of the Udachnaya pipe.]

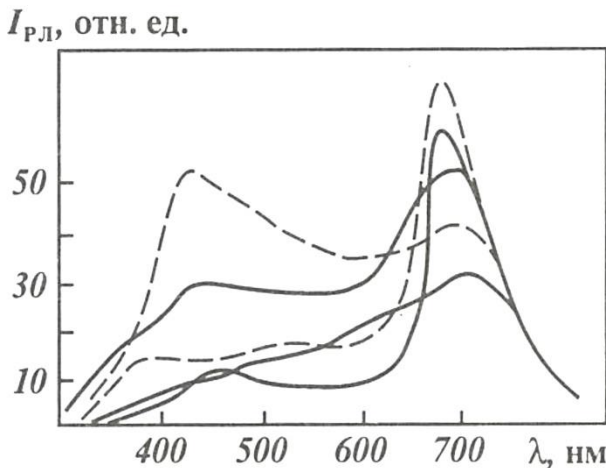


Рис. 5. Типы спектров рентгенолюминесценции кварца из кимберлитов трубки Удачная.
[Ris. 5. Types of X-ray luminescence spectra of quartzes from kimberlites in the Udachnaya tube.]

Мономинеральные кварцевые выделения (в том числе и аметистовидные головки) содержат немало различных включений в виде тончайших присыпок по граням роста, по стыкам шестоватых агрегатов, изредка в теле кристалла. Реже присутствуют включения водных растворов с различными содержаниями газовой фазы. В плоскостях роста кристаллов по ромбоэдру встречаются газовой-жидкие включения с различным объемным содержанием жидкой фазы – L от 90–85 до 15–10 %. Такие включения содержат много твердых минеральных ксеногенных фаз или же прилипают к ним. Размеры включений обычно не превышают $0,00n-0,01n$ мм, что затрудняет широкое экспериментирование с ними. Температуры гомогенизации таких включений в аметистовидных кварцах составляют 120–80° С. Предполагалось [9, 12], что солевой состав растворов, из которых росли аметисты и аметистовидные кварцы, в принципе не должен существенно отличаться от состава растворов, формиру-

вавших доаметистовидные их разновидности. Нами предпринята попытка методом водной вытяжки определить состав растворов включений в бледных аметистовидных кристаллах кварца из межсферолитовых выполнений изотопно тяжелого карбоната. Обнаруженные солевые компоненты (в % от мг/экв.: Na – 92,9; K – 7,1; Cl – 84,6; SO₄ – 15,4) позволяют утверждать, что в этом случае кристаллы аметистовидного кварца росли из хлоридно-натриевых растворов. По криометрическим определениям концентрация солей в растворах составляла всего около 1 % и ниже.

Головки аметистовидного кварца обычно повсеместно завершают формирование пустот, в которых между сферолитами карбонатов температуры кристаллизации кварца составляют 145–115°С. Изучение состава включений в кварце из кимберлитов трубки Удачная показало, что главными компонентами в составе газовой составляющей таких образований являются: CO₂ (1,93–92,16 %), N₂ (8,44–70,11 %), CH₄ (1,12–69,20 %) и H₂ (до 40 %), однако распределение компонентов в различных выделениях и их составных частях существенно различаются. В скелетных кристалликах кварца, характеризующихся пониженным содержанием CO₂, в отличие от аметистовидных выделений минерала, установлено повышенное содержание CH₄ (66,67 %) и H₂ (2,05–47,70 %). В мономинеральных кварцевых выделениях последовательность кристаллизации не всегда удаётся проследить. В отдельных прозрачных зернах кварца из кимберлитов встречены газовой-жидкие включения. Группу таких включений с выдержанным наполнением $L=75-80$ % гомогенизировали при 265–230°С, что позволяет предполагать при указанных температурах широкие процессы окварцевания, происходившие уже в широком масштабе. При этих температурах существовал коллоидальный кремнезем, поскольку нарастающие на халцедон головки кристалликов кварца содержат газовой-жидкие включения с температурами гомогенизации 160–140° С. Довольно часто кварцы из ким-

бегриловых пород центральных алмазоносных районов СП обволакиваются вязким битумом или его тонкой пленкой. Пленки битумов имеются и на стыках отдельных шестоватых агрегатов или нередко густым слоем покрывают кварцы. $\Delta^{13}\text{C}$ битума, покрывающего кварц в трубке Удачная равно – 33,6 ‰.

Анализируя в целом результаты проведенных масс-спектроскопических исследований состава газов включений в различных кварцах трубки Удачная, следует уточнить, что отобраны образцы из различных частей восточного и западного тел. Часть изучаемых проб была отобрана в приконтактных частях западного тела, остальные – на его границе с восточным телом на горизонте 235 м, а отдельные пробы – из восточного тела. Повсеместны эти пробы в основном связаны с перекристаллизованными ксенолитами известняков. В составе газовой фазы растворов включений в кварцах из разных мест имеются некоторые различия. Для включений в кварцах из приконтактных частей западного тела характерны высокие содержания (по объему) оксида углерода (IV) в составе газовой смеси включений при доле метана первые проценты.

Разновидности кварца, отобранные в районе контакта восточного и западного тел, росли в среде с повышенным содержанием метана в растворах. Содержания азота в них, формировавших все разновидности кварца, обычно составляют свыше 30 % объема газовой фазы. Относительно эволюции газового состава раствора отметим, что три последовательно сменяющиеся генерации кварца, которые росли на сферолитовых образованиях кальцита с частичным его замещением, по соотношению компонентов газовой фазы отличаются мало. Они характеризуются высокими объемными долями метана в составе газовой смеси растворов (более 30–40 %). Аналогичная картина отмечена в других прозрачных и аметистовидных кварцах среди ксенолитов известняков. Предпринятые попытки определения относительной газонасыщенности растворов включений по перепаду давления в постоянном объеме системы масс-спектрометра после раздавливания одинаковой навески пробы при постоянном вакууме 10^{-3} Па показали, что относительная газонасыщенность P в трех последовательных вариациях примерно одинакова. В образце с двумя последовательно растущими генерациями ранняя представлена молочно-белым мелкозернистым кварцем, последовательно переходящим в удлиненные шестоватые аметистовидные кристаллы с хорошо ограниченными головками.

В молочно-белом кварце присутствуют реликты карбоната радиально-концентрического строения. В составе газовой фазы растворов включений в раннем зернистом кварце, замещающем карбонат, метан составляет 61 % объема газовой фазы, тогда как во включениях в более поздних аметистовидных кристалликах объем его в составе газов включений гораздо меньше. В раннем молочно-белом кварце, замещающем карбонат, газонасыщенность растворов очень высокая – на порядок и более превышает тако-

ую в сменяющем его кварце аметистовидных и других кристалликов. В целом следует отметить, что относительная газонасыщенность растворов, из которых растут головки аметистовидного и прозрачного кварца, очень низкая, что согласуется с завершающим этапом их образования при температурах 120–80°C. Следует при этом отметить, что на степень газонасыщенности растворов заметно влияют локальные условия. Завершающий этап формирования разновидностей кварца представлен аметистовидной разностью или прозрачными кристалликами. Объемная доля метана снижается от растворов, формировавших ранние разновидности кварца, до поздних аметистовидных.

Очень интересно было сравнить полученными нами данные по комплексному изучению кварцев (особенно аметистовидных) с аналогичными образованиями из месторождений другого генезиса. Крупные месторождения аметистов обычно связаны с гидротермальными хрусталеносными кварцевыми жилами. Образуются они в нехрусталеносных кварцевых жилах, связанных с сульфидными месторождениями, в пегматитах и скарновых месторождениях, где аметисты обычно завершают гидротермальное минералообразование. Из литературных источников известно [4, 15–24], что кристаллизация аметистов в гидротермальных хрусталеносных жилах Якутии, судя по температурах гомогенизации включений, у основания кристалла составляют 285–245°C, у вершины – 195–135°C. В аметистах из хрусталеносных жил Полярного Урала получены температуры гомогенизации 230–200°C для основания и 190–160°C – для вершин кристаллов. В нехрусталеносных жилах для аметистов исследователями получены следующие значения $T_{\text{гом}}$ включений (в °C): Урал – 240–125 и 115–90, соответственно, для основания и вершин кристаллов; СП – 140–125 и 95–80; Узбекистан – 285–250 и 145–130; Карелия – 270–260 и 170–140; Армения – 215–190 и 130–110. Температура гомогенизации в аметистовидных кристаллах кварца из сульфидных жил Забайкалья составляют 170–135°C для основания кристаллов и 115–85 – для вершин. Более высокие $T_{\text{гом}}$ (550–500°C) обнаружены в аметистах из пегматитов Казахстана. В аметистовидных зонах кристаллов кварца из пегматитов Волини (Украина) $T_{\text{гом}}$ вторичных включений составляет от 380–360 до 260–250°C. В пегматитах Алтая головки аметистов росли при 205–159°C. Аметистовидные наросты на кристаллах кварца из камерных пегматитов Урала формировались при 200–160°C. Аметистовидные выделения из месторождения Ватиха на Среднем Урале (независимо от интенсивности окраски) кристаллизовались в интервале температур 170–110°C. Высокие $T_{\text{гом}}$ (420–380°C) установлены по первичным газовой-жидким включениям в основании головок кристаллов аметистов скарново-магнетитового поля Ангаро-Канского района (юг СП).

Халцедон является довольно широко распространенным новообразованием кимберлитовых диатрем, увеличиваясь количественно в приконтактных частях. При детальном комплексном изучении новооб-

разований из кимберлитов трубки Удачная, среди вторичных новообразований обнаружены [17, 23] необычайные друзы, сложенные псевдоморфозами по ранее появившимся минералам, сложенные кремнеземистыми минералами. Псевдоморфозы халцедона вместе с находящимися с ними другими минералами образуются в полностью или частично измененной кимберлитовой породе. В результате наложения различных процессов произошли существенные изменения не только в самой породе, но и в образовавшихся по трещинам друзах. Такие измененные породы обычно светлые, содержат много гипса и сравнительно мало гидроксидов железа. Часто стенки прожилков в таких участках покрыты друзами мелких кубических кристаллов, обычно покрытые гипсом. Расположенный на пирите светло-коричневый кальцит с халцедоном образуют полусферы, индивиды которого расходятся из одного или нескольких близко расположенных центров. Вблизи выпуклой поверхности подобного рода новообразованных агрегатов встречаются кубические кристаллы пирита, а также битумизированного кальцита. На сферической поверхности последнего (а в случае отсутствия кальцита, то непосредственно на породе) располагаются агрегаты бесцветного кварца, индивиды которого ориентированы удлинением примерно перпендикулярно к основанию.

Между светло-коричневым кальцитом и кварцем, а также на самом кварце, встречаются округлые выделения смолистого битума. Вокруг них видна корка бесцветного кальцита. Мощность кварцевой зоны незначительна и непостоянна (1–2 см). В ней содержатся волнистые включения халцедона, расположенные параллельно основанию. Кварцевая зона постепенно переходит в халцедоновую, которая в верхней части приобретает очертания кристаллов, на поверхности которых спорадически встречаются кристаллы пирита и мелкие друзочки гипса. Пирит образует мелкие (до 0,1 мм) кубические кристаллы с часто встречающейся формой пентагондододекаэдра с блестящими со штриховкой гранями. В промежутках между псевдоморфозами встречаются выделения битума. Иногда в таких друзах отмечаются выделения бесцветного кальцита, содержащего кристаллики кубического пирита. В местах выхода кальцита на дневную поверхность он обычно замещается сепиолитом и другими новообразованиями.

Халцедон довольно характерный минерал для затронутых выветриванием верхних частей кимберлитовых диатрем [25–30]. Нередко именно из халцедона начинают свой рост кристаллы кварца, головки которых образуют друзы. В случае образования псевдоморфоз самые мелкие (пелитоморфные) частицы халцедона расположены на поверхности первых. Частицы образуют узкую, но почти постоянной мощности (до 1 мм) зону, идущую параллельно поверхности граней псевдоморфоз. Цвет таких зон белый и отмечается значительное обособление частиц. По направлению к центру псевдоморфоз эта зона сменяется

участками волокнистого (игольчатого) халцедона, что происходит через прямой и резкий контакт [31–34]. Зерна волокнистого халцедона бесцветны, что свидетельствует о полном срастании отдельных индивидов. Волокна халцедона перпендикулярны границе с предыдущей зоной (перпендикулярны поверхности псевдоморфоз). В местах изменения направления игольчатые индивиды становятся тоньше и выклиниваются. Мощность волокнистой зоны непостоянна (примерно 1–2 мм). Изменение толщины зоны обусловлено сильной извилистостью границы с нижележащими участками кварца, являющегося основанием псевдоморфоз. В зоне кварца содержатся включения халцедона, имеющего в основном радиальное строение. Размер псевдоморфоз в друзах иногда достигает 2 см с преобладанием кристаллов до 1 см. Поверхность граней слабошероховатая.

Часто халцедон образует псевдоморфозы по минералу кубической сингонии, кристаллы которого были огранены кубом или октаэдром, а поэтому унаследованные формы отражают облик исходных выделений. Об этом свидетельствуют также углубления на гранях, обладающие соответствующей симметрией. Поскольку грани развиты довольно неравномерно, то образующиеся новообразования (и соответственно псевдоморфозы) сильно искажены. Обычно преобладают грани октаэдра, а грани куба имеют подчиненное значение, а иногда и вовсе отсутствуют [34–37]. При выяснении вопроса, по каким минералам образовались псевдоморфозы халцедона, надо учитывать воздействие наложенных различных процессов, изменивших по-разному ранее образовавшиеся минералы. Если исходить из сингонии, то среди возможных минералов встречаются такие кубические минералы как галит, магнетит, галенит и наиболее распространенный - пирит. Галит не мог быть первоначальным минералом, поскольку он не образует октаэдрических кристаллов.

Для магнетитов из кимберлитовых диатрем вообще не известны кристаллы, на которых фиксировалась бы грань куба. По галениту развиваются обычно сульфиды, которые практически нерастворимы и не выносятся за пределы кристалла. Наиболее правдоподобным исходным минералом является пирит, который слагает друзы аналогичного образца, во всем сходные с друзами халцедона и пирита на изученных горизонтах трубки Удачная (по размеру кристаллов, срастанию индивидов, скульптуре граней и ассоциациям с кальцитом). Сульфаты железа растворимы в воде и могут мигрировать. Что касается кремнекислоты, участвующей в образовании халцедона, то, кроме поступления её из вмещающих диатремы пород, она мобилизуется в процессе разложения оливина и серпентина, а при очень медленном протекании процесса – из кварца, отложившегося ранее на светло-коричневом кальците. Однако последний вариант мало вероятен, так как при этом кальций должен полностью раствориться, чего мы не наблюдали при изучении этих образований. При-

сыпки пирита на псевдоморфозах халцедона, пленки гипса на пирите, сепиолита на кальците возникли [11–13] уже на последующих стадиях процесса кимберлитового минералообразования.

В отдельных диатремах (Удачная, Зарница и др.) халцедон встречается в виде двух разновидностей: массивной с колломорфным строением (агат) и белой плотной пелитоморфной, состоящей из очень мелких изометрических зерен. Минерал в таких диатремах часто служит основанием, на котором начинает свой рост кварц, а иногда и кальцит. В халцедоне часто содержатся корольки черного битума. Кроме того, нередко наблюдаются прожилки и неправильной формы выделения халцедона в жильном кальците.

Заключение

Таким образом, проведенными исследованиями показано большое разнообразие разновидностей кварца в кимберлитовых породах как Сибирской, так и других древних платформ мира. Особенно большое скопление довольно крупных друз фиолетового аметистовидного кварца отмечалось при отработке верхних горизонтов (трубки Айхал, Удачная и др.). В кимберлитах нижних горизонтов этих же трубок пустоты встречаются реже, а кварцевая минерализация практически исчезает. Это позволяет утверждать, что друзы кварца (особенно аметистовидного) образовались в процессе гипергенеза за счет мобилизации и отложения кремнезема. Преобладание кристаллических друз кварца с кальцитом к верхним горизонтам диатрем имеет большое прикладное значение, подчеркивая степень денудированности трубок, а при размыве и переотложении в бассейны седиментации специфические выделения минерала (особенно их аметистовидные разности) могут использоваться и при определении источников сноса магматического материала, стратиграфических и палеогеографических реконструкций. Особенность люминесцентных свойств кварца из кимберлитов заключается в низкой интенсивности как природного ($I_{\text{ПТЛ}} < 10$ усл. ед.), так и индуцированного ($I_{\text{ИТЛ}} < 25$ усл. ед.) свечения, что существенно отличает их от минерала из других типов пород. Это позволяет предполагать, что слабая интенсивность ПТЛ и ИТЛ обусловлена незначительным содержанием центров захвата (ПТЛ) и центров свечения (РЛ), что определяется небольшим количеством структурных и примесных дефектов в кварцах.

Присутствие среди разновидностей кварца из кимберлитов значительного количества аметистовидных выделений свидетельствует о низкотемпературных образованиях этих природных аметистов. На низкотемпературный характер кристаллизации кварца в кимберлитовых породах указывает и присутствие во многих изученных кристаллах включений гётита – минерала, обычно образующегося при температурах ниже 200° С. Эти данные хорошо согласуются и с некоторыми результатами исследований температур гомогенизации газовой-жидких включений из кальцита, ассоциирующего с кварцем, по которым верхний

температурный интервал кристаллизации этого карбоната обычно не превышает 300° С. Другой характерной особенностью люминесцентных свойств кварца из кимберлитов является наличие на кривых ИТЛ низкотемпературного пика свечения в области 125–130°С, что также отличает их от большинства разновидностей кварца из других генетических типов пород. Постоянное присутствие в коротковолновой области спектров РЛ целой серии полос свечения, обуславливающих специфическую конфигурацию спектров может рассматриваться как диагностический признак кварца из кимберлитов.

Из приведенных данных следует, что аметисты в гидротермальных кимберлитовых жилах кристаллизуются в основном в температурном интервале 285–80°С. В других типах месторождений аметистовидные кварцы начинают кристаллизоваться при более высоких температурах (420–300° С). Состав газовой фазы из включений в аметистах приведенных для сравнения месторождений различного типа других регионов представлен в основном CO_2 и N_2 , содержание которых по объему колеблется, соответственно, от 0–10 до 100–90 %. Другие газы в таких минералах практически отсутствуют или их содержание не превышает 10 %. С аметистовидными кварцами ассоциируют различного класса органические вещества. Твердые битумы в виде включений обнаружены в аметистах из скарново-магнетитовых полей СП. Углеводородные вещества (УВ) в виде мельчайших капель на стенках вакуолей газовых включений (по свечению капель в ультрафиолетовом свете) описаны в пегматитах различных регионов. Освободившаяся в процессе разложения магнезиальных силикатов в кимберлитовых породах кремниевая кислота находится как в коллоидном, так и в диссоциированном состоянии в зависимости от pH среды. Образование кристаллических фаз свободного кремнезема (кварца и халцедона) зависит от конкретных локальных условий и в первую очередь – от соотношения катионов кальция и магния. Наиболее интенсивно процесс кварцеобразования осуществляется при температурах 265–230° С.

Интенсивность гидротермально-метасоматических процессов в кимберлитовых диатремах сами по себе не могли создать крупных полостей со свободно растущими кристаллами кварца. На условия кристаллизации локальных гнездовидных выделений кварца (в том числе и аметистовидных кристаллов) сильно влияли вмещающие диатремы породы, а также состав флюидов, принимавших участие в формировании минеральных ассоциаций, на которые нарастает кварц. Этим объясняются резкие колебания в соотношениях газовых компонентов в аметистовидных кристаллах кварца в целом и между отдельными генерациями в зависимости от субстрата нарастания кварца. Главное условие возникновения аметистовой окраски – создание сильно окислительной среды для полного перевода железа в окисное состояние.

Физико-химическими методами исследований в аметистах обнаруживают существование иона Fe^{4+} ,

который имеет самый меньший радиус из всех других и к тому же одинаковый с кремнием заряд. Это позволило предположить, что железо в щелочной среде кимберлитов может находиться в виде $\text{Fe}(\text{OH})^4$. Повышенная парциальная доля CO_2 в природных растворах (в том числе наличие его в виде самостоятельной фазы во включениях в аметистах) усиливает процесс образования такой же формы железа. Находясь в растворе в виде отдельных тетраэдров, железо легче приспосабливается к кремнекислородным тетраэдрам, чем ионы, имеющие другую координацию. Присутствие значительных объемов метана и его гомологов (нередко совместно с жидкими углеводородами) в минералообразующих растворах (начиная с температур 400°C и до самых низких) не благоприятствовало созданию окислительной обстановки в процессе пневматолитово-гидротермальных преобразований кимберлитовых пород. Начало аметистобразования в верхних частях кимберлитовых диатрем наиболее низкотемпературное по сравнению с таковыми в других типах месторождений. Сильное локальное влияние вмещающих диатремы пород в условиях отсутствия крупных полостей, низкие парциальные давления CO_2 в сочетании с пониженными температурами кристаллизации определили специфику структурной и примесной микродефектности, что в конечном итоге отразилось в уменьшенных значениях люминесцентных характеристик кварцев из кимберлитов (в том числе и аметистовидных) по сравнению с минералом из других источников.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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 суперполюсов.-Воронеж: ВГУ. 2008. 622 с.
2. Горшков А.И., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д., Шлыков В.Г., Жухлистов А.П., Мохов А.В., Сивцов А.В. Новый упорядоченный смешанослойный минерал лизардит-сапонит из кимберлитов Южной Африки // *Доклады Академии наук*. 2002. Т. 382. № 3. С.374–378.
3. Братусь М.Д., Зинчук Н.Н., Аргунов К.П., Сворень И.М. Состав флюидов во включениях в кристаллах алмаза Якутии // *Минералогический журнал*. 1990. Т. 12. № 4. С.49–56.
4. Братусь М.Д., Зинчук Н.Н., Краузе Г.Р., Витык М.О. Условия кристаллизации и изотопная природа серы, углерода и кислорода сульфидно-кальциевой ассоциации в трубке Удачная (Якутия) // *Геохимия*. 1998. № 3. С. 264–270.
5. 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.
6. 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.
7. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. Автолито-вые кимберлиты как продукт вязкостной дифференциации кимберлитового расплава в диатремах // *Петрология*. 2000. Т. 8. № 3. С.549–560.
8. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. О сопряженности составов глубинных включений в петрохимических разновидностях кимберлитов в диатремах Якутии // *Петрология*. 2001. Т. 9. № 1. С. 1–12.
9. Мацюк С. С., Зинчук Н. Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. М.: Недра. 2001. 428 с.
10. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Минералогия древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // *Геология и геофизика*. 1987. № 1. С. 90–96.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Тычков С.А. Проблема докембрийской алмазности Сибирской платформы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2002. № 1. С. 19–36.
15. Зинчук Н.Н. Кобы выветривания как основные поставщики местного материала в мезозойские алмазные россыпи // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 2018. № 2. С.24–31.
16. Зинчук Н.Н. О литолого-минералогических особенностях древних алмазных толщ // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 2018. № 3. С.15–23.
17. Зинчук Н.Н. Состав и генезис глинистых минералов в верхнепалеозойских осадочных толщах восточного борта Тунгусской синеклизы // *Геология и геофизика*. 1981. № 8. С.22–29.
18. Зинчук Н.Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // *Геология и геофизика*. 1992. № 7. С. 99– 109.
19. Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Яныгин Ю.Б. Особенности минералогии алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). М.: МГТ, 2004. 172 с.
20. 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.
21. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И., Липашова А.Н. Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // *Руды и металлы*. 1999. № 3. С.18–31.
22. Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Серенко В.П. Апокимберлитовые породы // *Геология и геофизика*. 1987. № 10. С. 66–72.
23. 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.
24. Квасница В.Н., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. М.: Недра, 1999. 224 с.
25. 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.
26. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдяных мине-

- ралов // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 1996. № 1. С. 53–61.
27. 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.
28. Зуев В.М., Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Манкенда А. Слабоэродированные кимберлитовые трубки Анголы // *Геология и геофизика*. 1988. № 3. С. 56–63.
29. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 1997. № 2. С.53–63.
30. 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.
31. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2003. № 2. С.57–68.
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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 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.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. Савко А. Д., Зинчук Н. Н., Шевырев 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.
41. Зинчук Н.Н. Особенности флюидных включений в минералах // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2021. Т. 20. № 2. С. 110–124.
42. Зинчук Н.Н. О специфике глинистых минералов в осадочных формациях // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2022. № 1. С. 10–23.
43. Зинчук Н.Н. Роль петролого-минералогических исследований при оценке потенциальной алмазоносности кимберлитов // *Отечественная геология*. 2022. № 1. С.59–70.
44. Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. Алмазы из низкопродуктивных кимберлитов // *Руды и металлы*. 2022. № 1. С. 77–93.
45. Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. О специфике докембрийских источников алмазов в россыпях // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2022. Т. 21. С. 149–166.
46. Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. Алмазы из полупромышленных кимберлитов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2022. № 2. С. 32–45.
47. 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. Т. 47. № 1. P. 45–62.
48. 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. P. 93–112.
49. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Zinchuk N.N. On the Correlation between the Compositions of mantle Inclusions and Petrochemical Varieties of kimberlites in Yakutian Diatremes // *Petrology*. 2001. Т. 9. № 6. P. 576–588.
50. Grachanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Sibirian platform // *Doklady Earth Sciences*. 2015. V. 465. № 2. P. 1297–1301.
51. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Vrcanism of the Sibirian Platform // *Petrology*. 2001. V. 9. № 6. P. 576–588.

Siliceous minerals in kimberlites

©2022 N. N. Zinchuk✉

*West-Yakutian Scientific Centre of the SR (Yakutia) Academy of Sciences,
5, korp. 1 Tichonova ul., 678170, Mirni, Russian Federation*

Abstracts

Introduction: Several thousand kimberlite bodies (pipes, dykes, and veins) of various shapes and sizes have been discovered in cratons all over the world. The structure of tubular (diatreme) structures consists of: a) a funnel or funnel-shaped expansion, which in case of non-eroded volcanic edifices is topped with a ring swell (crater zone); b) a vertical vent (diatreme zone); c) a feeder in the form of one or more dyke bodies (root zone). Each of these zones of the kimberlite structure is characterised by a particular morphology, textural and structural features, and material composition of rocks and the mechanism of formation, which allows considering each of the identified three zones of the kimberlite system as an independent geological feature. The concentration of secondary minerals (including the intensity of rock silicification) is usually higher in the upper parts of the diatremes due to the influence of the host rock material and an increased degree of fracture density, as well as due to their reconversion under the influence of hypergene processes.

Objects, research methodology and discussion of the results: Quartz and chalcedony are quite characteristic secondary minerals for kimberlite rocks in cratons. Their highest concentrations are usually associated with the upper parts of the diatremes affected to different extents by hypergene processes. There are both colourless quartzes and quartzes with various shades of brown, grey, and purple. The presence of amethyst-like precipitates among quartzes in the upper parts of kimberlite pipes allows attributing the majority of silica minerals present in such rocks to low-temperature formations, which has been confirmed by thermobarogeochemical studies of the crystals. The comparative study of quartz revealed that the most informative are its luminescent characteristics which show the features of microdefectiveness of these natural formations in terms of structure and impurities and, accordingly, the physicochemical parameters of quartz-generating media. Chalcedony is a fairly common mineral in kimberlites (especially in the upper parts of diatremes), which is often present in the lower parts of quartz crystalline druses and acts as a kind of substrate. Chalcedony often forms phantom crystals of other minerals. The crystallisation conditions for local nest-like quartz precipitates (including amethyst-like) were significantly influenced by the host rocks in the diatreme and the composition of fluids involved in the hydrothermal metasomatic transformation of kimberlites.

Conclusion: The study revealed a large variety of quartzes in kimberlite rocks in the Siberian and other cratons all over the world. Particularly there were many concentrations of quite large druses of purple amethyst quartz which were found during the development of the upper horizons of the diatreme. The kimberlites of the lower horizons in the same pipes had fewer voids and almost no quartz mineralisation. This allows us to state that quartz druses (especially amethyst-like) were formed during hypergenesis due to silica mobilisation and deposition. The fact that crystalline druses of quartz with calcite inclusions predominate in the upper horizons of diatremes is of great practical importance since it emphasises the degree of denudation of the pipes, and during erosion and redeposition in sedimentation basins, specific mineral precipitates (especially their amethyst-like varieties) can be used to determine the provenance ar-



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Nikolay N. Zinchuk, e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

ea of magmatic material to conduct stratigraphic and paleogeographic reconstructions. Intensive hydrothermal-metasomatic processes in kimberlite diatremes were not enough to create large cavities with freely growing quartz crystals. The crystallisation conditions for local nest-like quartz precipitates (including amethyst-like crystals) were strongly influenced by the host rocks in the diatremes as well as the composition of the fluids involved in the formation of mineral associations which quartz grew on. The strong local influence of host rocks in diatremes in the absence of large cavities, low partial pressures of CO₂ in combination with low crystallisation temperatures determined the specific features of microdefectiveness in terms of structure and impurities, which ultimately resulted in reduced values of the luminescent characteristics of quartzes from kimberlites (including amethyst-like) as compared to minerals from other sources.

Keywords: kimberlites, quartz, chalcedony, processes of mineral formation.

For citation: Zinchuk N. N. Siliceous minerals in kimberlites. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 4, pp. 38–52. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/38-52>

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

REFERENCES

- 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.)
- Gorshkov A.I., Zinchuk N.N., Kotel'nikov D.D., Shlykov V.G., Zhuhlistov A.P., Mohov A.V., Sivcov A.V. Novyj uporjadochennyj smeshanoslojnyj mineral lizardit-saponit iz kimberlitov Juzhnoj Afriki [New ordered mixed-layer mineral lysardite-saponite from kimberlites of South Africa]. *Doklady Akademii nauk – Reports of the Academy of Sciences*, 2002, vol. 382, no. 3, pp.374–378. (In Russ.)
- Bratus' M.D., Zinchuk N.N., Argunov K.P., Svoren' I.M. Sostav fljuidov vo vkljuchenijah v kristallah almaza Jakutii [Composition of fluids in inclusions in diamond crystals of Yakutia]. *Mineralogicheskij zhurnal – Mineralogical Journal*, 1990, vol. 12, no. 4, pp. 49–56. (In Russ.)
- Bratus' M.D., Zinchuk N.N., Argunov K.P., Svoren' I.M. Sostav fljuidov vo vkljuchenijah v kristallah almaza Jakutii [Composition of fluids in inclusions in diamond crystals of Yakutia] *Mineralogicheskij zhurnal – Mineralogical*, 1998, vol. 3, pp. 264–270. (In Russ.)
- Bratus' M.D., Svoren' I.M., Zinchuk N.N., Argunov K.P. Gazovye komponenty vkljuchenij v almazah razlichnyh 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 petrohimicheskoj 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. Avtolitovye kimberlity kak produkt vjazkostnoj differenciacii kimberlitovogo rasplava v diatremah [Autolithic kimberlites as a product of the viscous differentiation of kimberlite melt in diatremes]. *Petrologija – Petrology*, 2000, vol. 8, no. 5, pp. 495–504. (In Russ.)
- Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Kuznecova L.G. O soprjazhonnosti sostavov glubinyh vkljuchenij v petrohimicheskikh raznovidnostjah kimberlitov v diatremah Jakutii [On the conyugacy of the composition of deep inclusions in petrochemical varieties of kimberlites in the diatremes of Yakutia]. *Petrologija – Petrology*, 2001, vol. 9, no. 1, pp.1–12. (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.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N. Mineralogiya drevnikh rossypeialmazov vostochnogo borta Tunguskoi 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. Osnovnye litodinamicheskie tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovkiikh 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.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Poligenezalmazov v svyazi s problemoi korenykh rossypei severovostoka 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.)
- Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Logvinova A. N. Osobennosti raspredeleniya rossypanykhalmazov, 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., 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.)
- Zinchuk N.N. Kory vyvetrivanija kak osnovnye postavshhiki mestnogo materiala v mezozojskie almazonosnye rossypi [About basis Suppliers of Terrigenous Material cluring Formation of ancient Diamondiferous placers]. *Izvestija VUZov. Geologija i razvedka – Proceedings of higher education-al establishments. Geology and Exploration*, 2018, vol. 2, pp. 24–31. (In Russ.)
- Zinchuk N.N. O litologo-mineralogicheskikh osobennostjah drevnyh almazonosnyh tolshh [About litologo-mineralogical

- composition of sedimentary diamondiferous thicknesser] *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka – Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2018, vol. 3, pp. 15–23. (In Russ.)
17. Zinchuk N.N. Sostav i genezis glinistyykh mineralov v verhnepaleozojskikh osadochnyykh tolshhah vostochnogo borta Tunguskoy sineklizy [Composition and genesis of clay minerals in the Upper Paleozoic sedimentary strata of the eastern side of the Tunguska seniclise]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1981, vol. 8, pp. 22–29. (In Russ.)
18. Zinchuk N. N. Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoi i Vostochno-Evropeiskoi platform [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.)
19. Zinchuk N. N., Boris E. I., Yanygin Yu. B. *Osobennosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnyykh tolshchakh (na primere verhnepaleozojskikh 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.)
20. 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]. *Gornyy vestnik – Mining Bulletin*, 1997, no. 3, pp. 53–57. (In Russ.)
21. Zinchuk N. N., Koptil' V. I., Boris E. I., Lipashova A. N. Tipomorfizm almazov iz rossypei Sibirskoi platformy kak osnova poiskov almaznykh 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.)
22. Zinchuk N. N., Mel'nik Yu. M., Serenko V. P. Apokimberlitovyie porody [Apokimberlite rocks]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1987, no. 10, pp. 66–72. (In Russ.)
23. 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.)
24. Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. *Tipomorfizm mikrokristallov almaza* [Typomorphism of diamond microcrystals]. Moscow, Nedra publ., 1999, 224 p. (In Russ.)
25. Kotel'nikov 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.)
26. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Tipomorfnye osobennosti i paleogeograficheskoe znachenie slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographic significance of micaeous minerals]. *Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka – Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 1996, no. 1, pp. 53–61. (In Russ.)
27. Zinchuk N. N., Savko A. D., Koptil' V. I., Chashka A. I., Polkanov Yu. A., Palkina E. Yu., Khrenov A. Ya., Shevryev L. T. Sravnitel'naya kharakteristika tipomorfnykh osobennostei almazov iz terrigennykh otlozhenii Voronezhskoi anteklizy (Lipetskaya oblast') i Ukrain'skogo shchita (Srednee Pridnestrov'e) vsyazi s problemoi prognozirovaniya i poiskovykh 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.)
28. Zuev V.M., Har'kiv A.D., Zinchuk N.N., Mankenda A. Slabojerodirovannyye kimberlitovyie trubki Angoly [Poorly eroded kimberlite pipes of Angola] *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1988, vol. 3, pp. 56–62. (In Russ.)
29. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Osobennosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnyykh 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.)
30. 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.)
31. Kotel'nikov D.D., Zinchuk N.N. Ob anomalii obshhej shemy preobrazovaniya razbuhajushchih glinistykh mineralov pri pogruzhении soderzhashchih 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.)
32. Kotel'nikov D.D., Zinchuk N.N., Kuz'min V.A. Morfogeneticheskie raznovidnosti kaolinita v korah vyvetrivaniya i osadochnom chehle zemnoj kory. Stat'ja 1. Mehanizm obrazovaniya kaolinita v korah vyvetrivaniya razlichnykh petrohimeskikh 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.)
33. 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.)
34. 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.)
35. Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotel'nikov D. D. Primenenie klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonomernostei 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.)
36. 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 platform [Prospects for the primary and alluvial diamond content of

- the Southwestern part of the Siberian Platform]. Sb.: *Geologicheskie aspekty mineral'nosyr'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», posvyashchenoi 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 AKALROSA.]. Mirnyi, MGT publ., 2003, pp. 50–84. (In Russ.)
37. Afanas'ev V. P., Eliseev A. P., Nadolinnyi 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 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.)
38. Afanas'ev V. P., Pokhilenko N. P., Logvinova A. M., Zinchuk N. N., Efimova E.S., Saf'yannikov V.I., Krasavchikov V.O., Podgornyykh 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.)
39. Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. O specifike izuchenija almaza pri prognozno-poiskovykh rabotah (na primere Sibirskoy platformy) [Diamond study features in forecasting and prospecting (Siberian platform)]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2021, no. 3, pp. 59–75. (In Russ.)
40. 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 anteklise]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., 2003, vol. 17, 121 p. (In Russ.)
41. Zinchuk N.N. Osobennosti fljuidnykh vkljuchenij v mineralah [Specific features of fluid and Hydrothermal inclusion in Minerals]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologija – Proceedings of Perm State University. Series: Geology*, 2021, vol. 20, no. 2, pp.110–124. (In Russ.)
42. Zinchuk N.N. O specifike glinistyykh mineralov v osadochnyykh formacijah [About specific character of argillaceous Minerals in sedimentary formations]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologija – Proceedings of Perm State University. Series: Geology*, 2022, no. 1, pp.10–23. (In Russ.)
43. Zinchuk N.N. Rol' petrologo-mineralogicheskikh issledovanij pri ocenke potencial'noj almazonosnosti kimberlitov [The role of petrological-mineralogical and geochemical studies in assessing the potential diamond content of kimberlites]. *Otechestvennaya geologija – Domestic Geology*, 2022, no. 1, pp. 59–70. (In Russ.)
44. Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. Almazy iz nizkoproduktivnykh kimberlitov [Diamonds from low-yield kimberlites] *Rudy i metally – Ores and metals*, 2022, no. 1, pp. 77–93. (In Russ.)
45. Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. O specifike dokembrijskikh istochnikov almazov v rossypjah [About specific of the Precambrian Sources of placer Diamonds]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologija – Proceedings of Perm State University. Series: Geology*, 2022, vol. 21, pp. 149–166. (In Russ.)
46. Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. Almazy iz polupromyshlennykh kimberlitov [Diamonds from semi-industrial kimberlites] *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 2, pp. 32–45. (In Russ.)
47. 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.
48. 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.
49. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Zinchuk N.N. On the Correlation between the Compositions of mantle Inclusions and Petrochemical Varieties of kimberlites in Yakutian Diatremes. *Petrology*, 2001, vol. 9, no 6, pp. 576–588.
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. 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.

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>

Автор прочитал и одобрил 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>

Author have read and approved the final manuscript.