

Н. Н. Зинчук, д-р геол.-минерал. наук, профессор, академик АН РС(Я),
председатель Западно-Якутского научного центра (ЗЯНЦ)
Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Мирный, nnzinchuk@rambler.ru

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СОСТАВА И ФОРМИРОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОРОД

Приведены сведения о некоторых общих особенностях состава и формирования кимберлитовых пород. Показано, что в процессе происходящего вслед “за прострелом” осадочных толщ резкого падения давления и вызванного этим такого же спада температуры в верхней части кимберлитовых диатрем может образоваться только бедное магнием железистое стекло, которое в связи с ограниченным количеством кремнезема является малоустойчивым и может разрушаться наравне с оливином. Карбонатная составляющая общего расплава обособляется еще до затвердения силикатной части либо кристаллизуется (при падении температуры), либо разлагается (при падении давления) с удалением CO_2 . Разрушение наименее устойчивого соединения – главного минерала кимберлитов оливина – проходит под влиянием углекислоты одновременно по всему объему породы с последующей аморфизацией и переходом в коллоидное состояние с дальнейшей кристаллизацией и перекристаллизацией серпентина. Последний процесс проходит быстро, главным образом по краям бывших зерен с формированием псевдоморфоз, вдоль трещин синерезиса и по наиболее плотным участкам геля, а также по трещинам оливина в частично разрушенном кимберлите.

Ключевые слова: кимберлитовые породы, серпентин, карбонатная составляющая, кристаллизация и перекристаллизация, аморфизация, коллоидное состояние, псевдоморфозы.

Вопросам внедрения кимберлитовой магмы, становления и последующего изменения кимберлитовых пород посвящены многочисленные опубликованные работы [1, 2, 4–9, 16–20]. В связи с этим в настоящей работе мы остановимся только на некоторых мало освещенных моментах этой большой и сложной проблемы. Отметим, что при изучении кимберлитов главное внимание обычно уделяется реликтовым структурам и текстурам исходной породы, по которым построены практически все классификации кимберлитовых пород [3, 7–15]. Основное значение при этом придается изучению псевдоморфоз, их форм и расположения в породе. При этом незаслуженно малая роль

отводится исследованию цементирующей массы. В кимберлитовых породах, в которых сохранилось реликтовое строение, цементирующая масса представлена: а) субмикроскопическим серпентином; б) пелитоморфным карбонатом; в) стекловатым веществом. Многие исследователи считают, что и серпентин цемента представляет собой апостекло, хотя в свежем виде оно никем никогда не описывалось. Стекло не обнаружено также в обломочном материале кимберлитов. Поэтому необходимо остановиться прежде всего на таком вопросе, как существование в кимберлитах стекла, что в свою очередь затрагивает целый ряд проблем, касающихся условий возникновения серпентина [10–15, 22], ко-

торый причисляется многими исследователями к первичным магматическим образованиям. Очень важно получить ответ на вопрос о возможности возникновения вулканического стекла в процессе “прострела” пород земной коры и внедрения в них кимберлитовой магмы. В природных условиях обычно имеем дело с силикатным стеклом. При этом возникает другая проблема – о самом составе стекла, поскольку стекла как такового нигде в кимберлитовых телах не установлено. Решая эту проблему, необходимо, на наш взгляд, рассмотреть ряд вопросов, связанных с составом, строением и условиями возникновения искусственных силикатных стекол, провести их сравнение с природными стеклами, приуроченными к базитам и породам, наиболее близким по составу и строению к кимберлитам, – меймечитам. Осветить данные темы следует ещё и потому, что они имеют непосредственное отношение к выяснению изменений состава и свойств магматического расплава в процессе его внедрения. Это тем более необходимо, поскольку ультраосновные эффузивы встречаются весьма редко, в связи с чем сведения о них также являются сравнительно скудными.

Искусственным путем получены самые различные по составу (кроме карбонатных) *стекла*. В природных условиях обычно имеем дело с *силикатным стеклом*. Поэтому целесообразно рассмотреть в общих чертах образование силикатного стекла. Затронем также вопрос о возможности образования карбонатного стекла в процессе застывания кимберлитовой магмы, так как существование карбонатного расплава и образование карбонатных кимберлитов признается многими исследователями [3, 7, 16, 19]. Существуют различные мнения о строении стекол вообще и природных в частности. Одни исследователи считают, что основой их являются кристаллиты (т. е. участки с упорядоченной структурой), другие – что стекло состоит из непрерывной беспорядочной сети, в связи с чем внутренняя энергия стекла больше, чем в кристал-

лическом веществе. Последняя теория удовлетворительно объясняет многие свойства стекол. В целом в стеклах: а) существует ближняя и отсутствует дальняя упорядоченность; б) превалирует один из мотивов ближнего порядка, обладающий определенным составом. Относительно их связей можно отметить, что в условиях образования самих стекол соединения между кристаллами осуществляются между атомами одинаково. Дело только в разных размерах кристаллов (микролитов) и кристаллитов. Более мелкие частицы имеют размер элементарных ячеек и отдельных полиэдров SiO_4^{4-} и AlO_4^{5-} . В какой-то степени в кимберлитах присутствуют все три типа частиц с преобладанием тех или других. Но “поступательное движение”, присущее им, нельзя отбрасывать. Преобразование стекла в кристалл сопровождается уменьшением объема. Как следует из анализа природных стекол, приуроченных к основным и ультраосновным породам, в них содержится мало магнезии. Причиной тому являются химические свойства самого магния и влияние его на ход кристаллизации магмы. Из литературных источников известно, что в системе MgO-SiO_2 верхняя граница стеклообразования достигается при содержании магнезии 32,8 % (это при скорости охлаждения $10^6 \div 10^7$ град/с). В системе CaO-SiO_2 аналогичная граница проходит при содержании извести 55 % (по массе), а в системе FeO-SiO_2 может доходить до 80 % FeO. Из этого следует, что при избытке в системе магнезии стекло образовываться не будет и, наоборот, содержание извести и особенно железа может значительно поднять верхнюю границу стеклообразования, т. е. оно может происходить при более низком содержании кремнезема. Если состав кимберлитовой магмы близок к таковому включению ультраосновных пород (дуниты, оливиниты и перидотиты), то содержание в них магнезии находится выше верхней границы, а поэтому стекло формироваться не может. Для его возникновения необходимо изменить соотношение компонентов

в магме, что осуществляется в связи с кристаллизацией оливина. Образование оливина в процессе остывания ультраосновной магмы было детально рассмотрено Н. В. Беловым (1972 г.), обосновавшим механизм затвердения расплава и поведения различных составляющих в данном процессе. Согласно выдвинутым им представлениям, в ходе остывания в расплаве сначала появляются площадки из наиболее тугоплавкого порообразующего оксида – периклаза, на которые начинают садиться кремнекислородные тетраэдры с образованием зародышей оливина (форстерита). Оксид магния является своего рода затравкой, возникающей по мере охлаждения расплава (т. е. его пересыщения), ее появление обуславливается сближением в первую очередь кислорода с магнием, что вызвано свойствами атомов последнего. Выделение MgO делает расплав более богатым остальными порообразующими компонентами – щелочами, известью и кремнеземом, из которых в зависимости от *PT*-условий могут кристаллизоваться монтичеллит, пироксен или образоваться стекло, химический состав которого не будет отвечать исходной ультраосновной магме. Стеклообразованию в процессе консолидации магмы в подобных условиях может содействовать железо. Благодаря изменчивости его валентности (а значит и размера ионов) вносится определенная дестабилизация в процесс упорядоченности ионов и образования кристаллического вещества. Поэтому при избытке в остаточном расплаве железа стекло может возникнуть и при сравнительно небольшом содержании кремнезема. При этом образуется другой вид стекла, который обладает более низкой твердостью, заметной растворимостью в кислотах и более низкой температурой плавления, чем стекло, богатое кремнеземом.

Разделение (ликвация) силикатного расплава установлено как на лунных, так и на земных образованиях. В обоих случаях речь идет о застывании “сухой” магмы. Косвенно эту ликвацию признавали даже

её противники, объясняя образование палагонита за счет богатого железом стекла. В последнее время округлые включения палагонита с резкими ограничениями были обнаружены [6, 16] в стекле, приуроченном к траппам. Если признавать формирование палагонита за счет железистого стекла, то тем самым следует признавать разделение стекол, а значит и ликвацию магматического расплава, за счет которого образовались стекла. Последние возникают вследствие быстрого остывания сравнительно “сухой” магмы кислого состава или из остаточного состава в процессе кристаллизации основных и даже ультраосновных пород, образовавшихся после кристаллизации минералов, сложенных тугоплавкими оксидами (форстерит, основной плагиоклаз и др.). В связи со способностью кремнекислоты полимеризоваться идет образование стекла, прежде всего в процессе остывания богатой SiO₂ магмы (кислый состав), в которой содержание кремнезема больше 50 %. Обычно же кислые стекла содержат 70 % кремнезема и даже больше. В отличие от этого стекло основных пород всегда более кислое, чем кристаллическая порода, к которой оно приурочено. На образование стекла из остаточного расплава основной магмы оказывают положительное влияние щелочно-земельные элементы, а также железо. В результате накопления их в остаточном расплаве при быстром застывании последнего стекло может образоваться и при содержании кремнезема меньше 50 %. Об этом свидетельствуют стекла различных сортов. Так, в лунном материале обнаружено два вида стекла, которые приурочены к базитовым породам. Одно из них содержит более 70 % SiO₂ и сравнительно много калия. Во втором на порядок меньше калия, но и на порядок больше закисного железа, в 5 раз больше извести и меньше 50 % кремнезема. Магнезии в первом содержится до 0,3 %, во втором – не более 3 %.

В стекле меймечитов и коматиитов тоже мало магнезии [6, 17], что свидетельствует о том, что она в остаточный рас-

плав попадает в незначительном количестве и за счет неё не может образоваться такое количество серпентина, которым сложена цементирующая масса. Кроме того, толщина закраин стекла в меймечитах [17] не превышает нескольких миллиметров. Его химический состав далек от состава оливина и может приравняться к таковому пироксенов. Но оптические данные разноречивы. С одной стороны, минерал изотропный, что дало основания отнести его к стеклу, с другой – он имеет очень большой показатель преломления (1,716), что не свойственно даже наиболее железистым стеклом. Показатели преломления железистого стекла лунных образцов не превышают 1,700. Химические анализы стекловатых закраин меймечитов свидетельствуют о том, что возникшие при остывании магмы аморфные образования не могут иметь оливиновый (а тем более форстеритовый) состав, а содержат щелочи, известь и другие компоненты. В целом показатели преломления не могут характеризовать состояние стекла и тем более его состав. Причиной тому является строение самого стекла, состав входящих в него компонентов и способ взаимодействия их между собой. Строение бывает более плотным или рыхлым с образованием различных пустот, канальцев, что в какой-то мере отражается на преломлении. Увеличение показателей преломления стекла происходит благодаря наличию в нем железа, которое может присутствовать в виде оксида, кристаллиты которого имеют размеры меньше 10^{-4} мм. Они придают стеклу в зависимости от их строения различные оттенки красно-коричневой окраски, а при ничтожном размере частиц показатель преломления этого микроскопического однородного агрегата будет усредненным между таковыми для гаматита и, например, кварца. Размер кристаллитов сам по себе, как уже отмечалось, не влияет на показатели преломления, но может оказывать влияние их состав, а также способ уплотнения и сила взаимодействия между собой. Будучи связанным с кремнекислородными

тетраэдрами в силикат, железо меньше повышает показатель преломления всего агрегата (т. е. стекла), чем кристаллиты оксидов железа.

Поскольку многие исследователи считают, что исходной была однородная карбонатно-силикатная магма, то и образование стекла тоже должно бы происходить не без участия карбонатов, тем более, что существует мнение о первичности карбонатной массы [7, 9]. Поэтому целесообразно рассмотреть данный вопрос более подробно, так как он имеет весьма важное значение для понимания изменения магмы в процессе ее эволюции до “прострела” и во время ее консолидации с образованием основной массы породы в частности. С проблемой кимберлитов тесно связан вопрос о карбонатитах, которыми бываю выполняны трубки взрыва, из-за чего эти образования некоторыми исследователями тоже отождествляются с кимберлитами. Общеизвестно, что карбонатная магма существует. Споры возникают обычно вокруг состава подобного расплава. Современные излияния представлены расплавом карбонатов щелочных элементов, которые впоследствии замещаются кальцием с образованием кальцита. Карбонат кальция и натрия (шортит) присутствует в кимберлитовых телах [9, 13, 18]. Кальцит также был получен и непосредственно из искусственных расплавов, где в качестве исходного материала взяты карбонаты щелочей, хлорит кальция и силикаты. При консолидации этого находящегося под давлением карбонат-силикатного расплава возникла колонка, верхняя часть которой сложена кальцитом, а нижняя – силикатным стеклом. Ликвация карбонатного расплава предполагается также для кимберлитовой магмы [17–20]. Однако карбонатное стекло не образуется ни под давлением, ни тем более в открытом пространстве. Несмотря на то, что при выплавке обычного стекла в состав шихты входят карбонат щелочей и кальцит, конечный продукт не содержит карбонатного иона. Наконец, не обнаружено карбонатное стекло и в космическом мате-

риале, хотя углеродсодержащих образцов много, а в углистых хондритах установлен доломит. Не упоминается оно и в справочной литературе.

Поскольку из находящегося под давлением карбонатно-силикатного расплава образуется кальцит (т. е. кристаллическая фаза), то карбонатного стекла не должно быть ни в условиях “закалки”, когда под давлением содержащая CO_2 карбонатная магма быстро остывает у контакта с холодными вмещающими породами, ни тем более в условиях выполнения центральной части трубки, где резкий спад температуры (необходимое условие для образования стекла) обусловлен резким спадом давления (вслед за “прострелом” давление в трубке настолько падает, что проваливаются вышележащие породы). В данных условиях карбонат кальция неустойчив и еще до понижения температуры до 700°C диссоциирует с выделением CO_2 . Что касается стекла, зафиксированного в минералах в виде включений, то анализ с целью обнаружения в нем CO_3^{2-} не проводилось. Из сказанного следует, что образование карбонат-силикатного стекла (т. е. гомогенного вещества) в процессе застывания кимберлитового расплава не имело места. Это тем более правильно, что и сам силикатный расплав претерпевает некоторое разделение, в связи с чем получается неоднородное стекло. Находящиеся в расплаве при более высоких давлениях ионы CO_3^{2-} в случае сравнительно медленного снятия напряжения кристаллизуются с образованием карбоната. В случае сохранения щелочной среды CO_2 может вновь соединяться с Са с образованием карбоната, но это уже является вторичным процессом. А карбонатсодержащее стекло и в данном случае возникнуть не может. Будучи остаточным после кристаллизации силикатов, щелочной карбонатный состав в присутствии летучих компонентов тем не менее отделяется и, находясь под давлением в момент “прострела”, способен выполнить всякого рода трещины (до мелких включительно) и в них выкристаллизоваться, захватив

при этом частично и силикатный расплав. В свою очередь, какая-то часть карбонатного расплава захватывалась силикатными расплавами. Однако в обоих случаях происходит полная кристаллизация (или распад) карбоната без образования им стекла. Следует при этом отметить, что если существование карбонатно-силикатного расплава возможно, то в процессе остывания “сухой” или “мокрой” магмы идет кристаллизация карбоната, а силикат может превратиться в стекломассу, причем кристаллическая фаза силиката (в частности слюды) присоединяется к раскристаллизованному карбонату, а не к аморфному силикату (что мы и наблюдаем в кимберлитах).

Принимая во внимание геологические данные и результаты экспериментальных исследований, можно сделать выводы о том, что кальцит, являющийся главной составной частью кимберлитов, мог возникнуть из карбонатного расплава-раствора, в котором карбонатный ион (CO_3)²⁻ не распался благодаря повышенной щелочности среды и (или) высокому давлению. Никакого карбонатного (ни тем более карбонат-силикатного) стекла не было, поскольку в любых условиях карбонатный расплав кристаллизуется или происходит его распад, а от силикатного расплава он отделяется. Поэтому карбонат основной массы не может являться продуктом кристаллизации стекла, тем более, что он отделился от силикатного еще до внедрения последнего в осадочные толщи. На невозможность существования карбонатного стекла указывают многие исследователи твердых включений в минералах кимберлитов. Невозможность образования карбонатного стекла в какой-то мере подтверждает мнение о ликвации первичного расплава с отделением карбонатного составного, которое, являясь более легким и менее вязким, всплыло и потом оттеснилось к периферии кимберлитовых провинций с образованием щелочно-ультраосновных кимберлитовых ассоциаций [13–20]. На мелких объектах это подтверждено для меймечитов,

а также доказано экспериментально по синтезу слюдистых карбонатных образований. Конечно, полного разделения не могло произойти. Определенная, незначительная часть силикатной магмы была захвачена карбонатным расплавом и, наоборот, карбонатный расплав силикатным, о чем свидетельствуют глобулы карбонатов в кимберлитах базальтического типа. Поскольку стекло не может быть карбонатным, то и мнение о первичном кальцитовом составе основной массы может относиться лишь к собственно карбонатитовым образованиям, а не к кимберлитам вообще.

В процессе кристаллизационной дифференциации любой магмы, которая содержит определенное количество воды (независимо от того, каким образом она в нее попала), в конечной стадии консолидации появляются многоводные, преимущественно *аморфные* (и даже рентгеноаморфные) образования, которые описаны под различными названиями: *палагонит*, *гизингерит*, *хлорофейт* и др. Все подобного рода образования обычно именуют [21] *коллоидными минералами*. Они возникли как в процессе эволюции расплава на глубине, так и при излиянии его на дневную поверхность, особенно в водные бассейны, на ледяную поверхность или внедрения в любые образования. Наиболее характерны подобные образования для основных пород. Так, в эндоконтакте долеритов трапповой формации Сибирской платформы палагонит составляет до 25 % объема породы. Гизингерит встречается также и среди метаморфических образований. Формы его выделения, некоторые физические свойства (ровный до раковистого излом, блеск, твердость и др.) напоминают таковые серпофита. Поэтому с целью сравнения эволюции магмы в процессе её затвердевания остановимся на характеристике образований более подробно. *Палагонит* – совокупность богатых водой аморфных или слабокристаллизованных образований, которые возникли при охлаждении богатого водой расплава и в период форми-

рования магматического тела, ведут себя как флюидонасыщенная жидкость. Палагонит ассоциирует со стеклом, а в слабокристаллизованных породах занимает место последнего. В стекле он находится в виде включений округлой формы с резкими границами. К палагониту иногда бывают приурочены рудные минералы и апатит. Глобулы палагонита в стекле бывают: а) однородные изотропные или слабоанизотропные; б) концентрически зональные. Палагонит нередко имеет вид сморщенного при усыхании гелеобразного вещества с системой трещин, которые разбивают его на полигональные участки. Все перечисленные особенности палагонита свойственны и серпентинам [10–15]. Палагонит и гизингерит являются аморфными минералами, и только на порошкограммах некоторых из них обнаруживаются рефлексы, позволяющие отнести их к слоистым силикатам, т. е. они образуют своего рода двумерные коллоиды, взаимодействие между частицами которых осуществляется при помощи водородных и остаточных связей и в меньшей степени других видов взаимодействия, из-за чего твердость их не превышает 3 (по шкале Мооса). Показатели преломления у них обычно ниже 1,500, и только в тех выделениях, в которых присутствуют примеси субпелитоморфных оксидов или гидроксидов железа, они могут достигать 1,600, а иногда и больше. Состав подобных образований непостоянный и колеблется в больших пределах, однако содержание железа не опускается ниже 20 %, а магнезии только в редких случаях достигает 15 %. Обычно она присутствует в виде небольшой примеси. В неокисленном палагоните свободных оксидов (железа, марганца) не обнаружено [14]. Несмотря на высокую железистость, показатель преломления низкий, причиной тому является не содержание минералом воды, а неупорядоченность структурных элементов (т. е. аморфность) с образованием пустот, в которых и помещается вода. Развивающийся по этим минералам нонтронит содержит воды не меньше, но показатель

преломления его выше примерно на 0,100. Из этого следует, что палагонит, гизингерит и другие подобные являются аморфными минералами и представляют собой затвердевший силикатный гель, возникший вследствие сближения и взаимодействия между собой кристаллитов (т. е. образований, у которых имеется только близкий порядок кристаллической структуры, и в связи с этим размер индивидов не превышает 10 нм) со слоистым строением и неодинаковым размером.

К **постмагматическим преобразованиям кимберлитов** относятся изменения, которые претерпели магматические породы в пневматолитово-гидротермальную стадию метаморфизма. Верхней температурной границей считается 600 °С, т. е. температура, при которой от магматического расплава отщепляется флюид, а нижней можно условно считать температуру кипения воды, хотя некоторые минералы возникают и при более низких температурах. В этом интервале температур возникли все основные вторичные образования и в первую очередь главный минерал кимберлитов Сибирской и Африканской платформ – серпентин. Что же касается второго по количеству после серпентина минерала – кальцита, то его следует рассматривать отдельно, поскольку он является полнокристаллическим и к нему применяются другие методы исследования (кристаллографические, термометрические и др.). Серпентин встречается преимущественно в виде субмикроскопических агрегатов. Наряду с автотематоморфическими процессами, которые протекают в обстановке, близкой к изохимической, в кимберлитовых телах довольно широко распространен метасоматоз (автотематоматоз). К последним следует отнести хлоритизацию слюды и полевых шпатов ксенолитов, которая сопровождается выносом щелочей и кальция. При бруситизации оливина происходит удаление кремнезема. Оталькование серпентина предусматривает привнос SiO_2 , а окварцевание серпентина – вынос всех остальных компонентов. К метасомати-

ческим также относится замещение серпентином карбонатов и, наоборот, замещение карбонатом силикатов. Главным реагентом в этих процессах является вода; важнейшую роль играет степень ее диссоциации на H^+ и OH^- , т. е. pH раствора, который в значительной мере определяется количеством в нем сильных оснований (Na, K, Ca и др.). Последние не только влияют на реакцию среды, но и входят в состав новообразований. В присутствии щелочей синтезирован оливин в гидротермальных условиях, а флогопит получен при температуре ниже 600 °С. В то же время образование антигорита происходит при температурах выше 500 °С. При этом в зависимости от конкретных условий имеет место “перекрытие” температур образования высокотемпературных минералов. Поскольку остаточный расплав магнезией не обогащается, образование серпентина происходит в основном за счет оливина. Кроме того, определенное ее количество заимствуется также в карбонатах (в частности в ксенолитах доломита). Следовательно, прежде чем возникает серпентин, должен разрушиться оливин – как наименее устойчивый из силикатов и наиболее распространенный. Его разрушение возможно под действием кислых растворов, и роль кислоты выполняет CO_2 , который под большим давлением создает довольно сильноокислую среду водного раствора. Перешедшие в раствор SiO_4^{4-} и магний находятся в близком соотношении (как и в серпентине) с небольшим избытком последнего. Будучи сравнительно слабым основанием, магний все же нейтрализует углекислый раствор, однако магнезит в этих условиях сформироваться не может, так как pH раствора еще низкий [13]. Поэтому, имея сравнительно большую положительную энергию гидратации, магний взаимодействует с отрицательно заряженными кремнекислородными тетраэдрами, которые в слабокислых условиях полимеризуются в слой с образованием двумерного коллоида [21], возникновение которого возможно при сильном падении давления. Разрушение

оливина с образованием аморфных продуктов разложения происходит в пределах самого зерна этого минерала. О подобном ходе процесса свидетельствуют субмикроскопические размеры кристаллитов ядер многих псевдоморфоз, а также расплывчатость рефлексов на порошкограммах многих из них, хотя в данном случае в препарат для исследования попадает много более крупных индивидов, возникших вследствие перекристаллизации [22]. В случае наличия стекла, которое должно быть богаче кремнеземом, чем оливин, при взаимодействии с ним излишка магнезии возникает аналогичный коллоид. Последний, являясь текучим, мог проникнуть во всякого рода трещины, пустоты с образованием прожилков и нодулей серпофита. Значит, серпентин из псевдоморфоз цементирующей массы и выделения серпофита обязаны коллоидному первоначальному образованию с последующим преобразованием в гель и его кристаллизацией (возможно, даже не полной). Об этом свидетельствуют трещины синерезиса, которые разбивают затвердевший гель на полигональные фигуры. В низкотемпературных серпофитах эти трещины сохранились, а у псевдоморфоз вместо них появились агрегаты из параллельно-чешуйчатых индивидов, образующих секториально гаснущую (секториальную) структуру. Последняя обычно возникает в процессе быстрого роста множества кристаллов с четырех сторон. Рост заканчивается в центре или на определенном расстоянии от него. Это стало возможным, потому что напряжение было снято не полностью, поскольку порода в целом находилась под давлением. Во многих случаях петельчатая структура также имеет элементы секториальной. Слепые прожилки в срезе дают в шлифе ленты, объединенные в каркас-петельчатые картины. Агрегаты из субмикроскопических индивидов псевдоморфоз чаще перекристаллизованы, чем выделения серпофита, количество которого в кимберлитовых телах сверху увеличивается. Причиной тому является уменьшение общего (ста-

тического) давления пород в верхних горизонтах кимберлитовых трубок.

Таким образом, сформировавшийся в процессе кристаллизационной дифференциации остаточный расплав-раствор базитов и ультрабазитов не обогащен, как считают некоторые исследователи, магнезией, а сложен преимущественно железом и кремнеземом и развитие по нему серпентина возможно как по любому другому силикату, независимо от состава последнего. Образование палагонита нельзя объяснить только гидратацией вулканического стекла, пусть даже сильно железистого, так как в подобных случаях обычно (даже в процессе выветривания) происходит гидролиз и возникает кристаллическая фаза, представленная смектитом (монтмориллонитом, железистым сапонитом или нонтронитом). Поэтому появление аморфной (в том числе и рентгеноаморфной) фазы может быть связано с процессом быстрого выпадения геля из раствора с последующим его высыханием. При этом наиболее подходящими компонентами служат состав и форма размещения палагонита, так же как и близкого к нему гизингерита. А последний встречен не только (и не столько) в базальтах, но и в габбро, и даже в метаморфических образованиях. Возникновение аморфных веществ, основу которых составляют кристаллиты слоистых силикатов (куда входят и субизотропный серпентин и серпофит), возможно при низком давлении. Увеличение давления содействует образованию кристаллических веществ, поскольку при этом уменьшается объём породы. Однако с увеличением давления уничтожается также реликтовая структура породы. Сохранившаяся в кимберлитах реликтовая структура в значительной мере связана со сравнительно низким давлением в процессе серпентинизации. Образование серпентина нельзя объяснить с точки зрения магматического происхождения и тем более выделения его из остаточного расплава. В процессе эволюции ультраосновной магмы здесь выпадают из общей схемы пироксены и

амфиболы, которые для кимберлитовых тел не характерны. Резкий спад давления привел к образованию двухмерных коллоидов, которые в зависимости от содержания в системе кремнезема или поступления его из вмещающих пород оформились в виде серпентина или смектита (сапонита). Смектит (монтмориллонит) был синтезирован при 450 °С (т. е. температуре образования лизардита). Однако к магматическим образованиям его пока никто не причисляет. Тальк, диссоциация которого происходит при более высоких температурах, чем у серпентина, в зависимости от соотношения компонентов (в том числе и воды) может образоваться при более низких температурах, чем серпентин, на что указывали многие исследователи [4, 12–15, 17–19].

Основные выводы по поводу отдельных вопросов становления и дальнейшего формирования кимберлитовых тел и слагающих их минералов и пород: а) В процессе происходящего вслед “за прострелом” осадочных толщ резкого падения давления и вызванного этим такого же спада температуры в верхней части может образоваться только бедное магнием железистое стекло, которое в связи со значительным ограниченным количеством кремнезема является малоустойчивым и может разрушаться наравне с оливином (однако от избытка воды в остаточном расплаве процесс до образования стекла не доходит). б) Карбонатная составляющая общего расплава обособляется еще до затвердения силикатной части и в зависимости от конкретных условий либо кристаллизуется (при падении температуры), либо разлагается (при падении давления) с удалением CO_2 . в) Большое значение для мобильности карбонатного расплава имеют щелочи и в первую очередь натрий, который впоследствии образует собственное соединение (шортит) или, обладая (в отличие от калия) положительной энергией гидратации, легко выносится поствулканическими растворами, уступая место кальцию. г) Разрушение наименее устойчивого соединения – главного ми-

нерала кимберлитов оливина проходит под влиянием углекислоты одновременно по всему объему породы с последующей (вызванной гидролизом) аморфизацией и переходом в коллоидное состояние с дальнейшей кристаллизацией и перекристаллизацией серпентина. д) Кристаллизация серпентина происходит быстро, главным образом по краям бывших зерен с формированием псевдоморфоз, вдоль трещин синерезиса и по наименее плотным участкам геля, а также по трещинам оливина в частично разрушенном кимберлите.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Харьков А. Д., Соколов В. Н.* Закономерности изменения магнийных минералов в коре выветривания кимберлитов//Минерогения зоны гипергенеза. – М.: Наука, 1980. – С. 45–54.
2. *Бакуменко И. Т.* Расплавленные включения, их типы и термометрические методы исследования//Магматогенная кристаллизация по данным изучения включений расплава. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 33–54.
3. *Благулькина В. А., Ровша В. С., Сарсадских Н. Н.* К минералогии связующей массы кимберлита//Зап. ВМО. – 1965. – Ч. 94. – Вып. 1. – С. 471–476.
4. *Бобривич А. П., Илутин И. П., Козлов И. Т.* и др. Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. – М.: Недра, 1964. – 192 с.
5. *Братусь М. Д., Зинчук Н. Н., Аргунов К. П., Сворень И. М.* Состав флюидов во включениях в кристаллах алмаза Якутии//Минералог. журнал. – 1990. – Т. 12. – № 4. – С. 49–56.
6. *Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г.* Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. – Новосибирск: Наука, 1997. – 574 с.
7. *Владимиров Б. М., Костровицкий С. И., Соловьева Л. В.* и др. Классификация кимберлитов и внутреннее строение кимберлитовых трубок. – М.: Наука, 1981. – 136 с.
8. *Галимов Э. М., Боткунов А. И., Гариши В. К.* и др. Углеродсодержащие флюидные включения в оливине и гранате из кимберлитовой трубки Удачная//Геохимия. – 1989. – № 7. – С. 1011–1020.
9. *Егоров К. Н.* Изменение изотопного состава углерода и кислорода в процессе метасоматического преобразования кимберлитов//Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 286, № 2. – С. 429–433.

10. *Зинчук Н. Н.* Распределение вторичных минералов в кимберлитовых породах Якутии//Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1990. – № 5. – С. 70–83.

11. *Зинчук Н. Н.* Некоторые аспекты эволюции магматического расплава кимберлитового состава//Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 1996. – № 6. – С. 20–25.

12. *Зинчук Н. Н.* Влияние вторичных минералов на облик и состав кимберлитовых пород//Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – № 12. – С. 1704–1715.

13. *Зинчук Н. Н.* Постмагматические минералы кимберлитов. – М.: Недра, 2000. – 538 с.

14. *Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М.* Серпентины из кимберлитов//Бюлл. МОИП. Отдел геол. – 1998. – Т. 73. – Вып. 3. – С. 56–68.

15. *Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П.* Апокимберлитовые породы//Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.

16. *Илупин И. П., Лутц Б. Г.* Химический состав кимберлитов и вопросы происхождения кимберлитовой магмы//Сов. геология. – 1971. – № 6. – С. 61–73.

17. *Маракушев А. А.* Петрогенез и рудообразование. Геохимические аспекты. – М.: Наука, 1970. – 261 с.

18. *Маршинцев В. К.* Вертикальная неоднородность кимберлитовых тел Якутии. – Новосибирск: Наука, 1986. – 280 с.

19. *Милашев В. А.* Вторичные изменения кимберлитов//Тр. НИИГА. – 1962. – Т. 121. – С. 165–185.

20. *Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И.* Коренные месторождения алмазов Мира. – М.: Недра, 1998. – 555 с.

21. *Чухров Ф. В.* Коллоиды в земной коре. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 671 с.

22. *Wicks F. J.* Serpentine mineralogy, petrology and paragenesis//CanMineral. – 1975. – V. 13, pt. 3. – P. 227–243.

REFERENCES

1. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Khar'kiv A. D., Sokolov V. N.* Regularities of mantle minerals' alteration in the crust of weathering of kimberlites//Minerageny of hypergenesis zone. – Moscow: Science, 1980. – P. 45–54. (In Russian).

2. *Bakumenko I. T.* Melted inclusions, their types and thermometric methods of research//Magmatogene crystallization according to the data of melt inclusions research. – Novosibirsk: Science, 1975. – P. 33–54. (In Russian).

3. *Blagulkina V. A., Rovsha V. S., Sarsadskikh N. N.* To mineralogy of binding mass of kimberlite//Notes WMO. – 1965. – Pt. 94. – Iss. 1. – P. 471–476. (In Russian).

4. *Bobrievich A. P., Ilupin I. P., Kozlov I. T.* et al. Petrography and mineralogy of kimberlite rocks of Yakutia. – Moskva: Nedra, 1964. – 192 p. (In Russian).

5. *Bratus M. D., Zinchuk N. N., Argunov K. P., Skvoren I. M.* Fluids composition in inclusions in Yakutian diamond crystals//Mineralog. journal. – 1990. – Vol. 12. – № 4. – P. 49–56. (In Russian).

6. *Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G.* Petrochemical models of diamond deposits of Yakutia. – Novosibirsk: Science, 1997. – 574 p. (In Russian).

7. *Vladimirov B. M., Kostrovitsky S. I., Solovieva L. V.* et al. Classification of kimberlites and internal structure of kimberlite pipes. – Moscow: Science, 1981. – 136 p. (In Russian).

8. *Galimov E. M., Botkunov A. I., Garanin V. K.* et al. Carbonaceous fluid inclusions in olivine and garnet from kimberlite pipe Udachnaya//Geochemistry. – 1989. – № 7. – P. 1011–1020. (In Russian).

9. *Yegorov K. N.* Alteration of carbon and oxygen isotope composition in the process of metasomatic transformation of kimberlites//Rep. USSR AS. – 1986. – Vol. 286. – № 2. – P. 429–433. (In Russian).

10. *Zinchuk N. N.* Distribution of secondary minerals in kimberlite rocks of Yakutia//Proc. of USSR AS. Ser. geol. – 1990. – № 5. – P. 70–83. (In Russian).

11. *Zinchuk N. N.* Some aspects of magmatic melt evolution of kimberlite composition//Proc. of institutes of higher education. Geology and exploration. – 1996. – № 6. – P. 20–25. (In Russian).

12. *Zinchuk N. N.* Influence of secondary minerals on appearance and composition of kimberlite rocks//Geology and geophysics. – 1998. – Vol. 39. – № 12. – P. 1704–1715. (In Russian).

13. *Zinchuk N. N.* Postmagmatic minerals of kimberlites. – Moskva: Nedra, 2000. – 538 p. (In Russian).

14. *Zinchuk N. N., Melnik Y. M.* Serpentine from kimberlites//Bul. of MOIP. Geology department. – 1998. – Vol. 73. – Iss. 3. – P. 56–68. (In Russian).

15. *Zinchuk N. N., Melnik Y. M., Serenko V. P.* Apokimberlite rocks//Geology and geophysics. – 1987. – № 10. – P. 66–72. (In Russian).

16. *Ilupin I. P., Luts B. G.* Chemical composition of kimberlites and issues of kimberlite magma origin//Sov. geology. – 1971. – № 6. – P. 61–73. (In Russian).

17. *Marakushev A. A.* Petrogenesis and ore formation. Geochemical aspects. – Moscow: Science, 1970. – 261 p. (In Russian).

18. *Marshintsev V. K. Vertical heterogeneity of kimberlite bodies of Yakutia.* – Novosibirsk: Science, 1986. – 280 p. (In Russian).

19. *Milashov V. A. Secondary changes of kimberlites//Trudy NIIGA.* – 1962. – Vol. 121. – P. 165–185. (In Russian).

20. *Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Primary diamond deposits of the World.* – Moskva: Nedra, 1998. – 555 p. (In Russian).

21. *Chukhrov F. V. Colloids in the Earth crust.* – Moscow: USSR AS publ. house, 1955. – 671 p.

22. *Wicks F. J. Serpentine mineralogy, petrology and paragenesis//CanMineral.* – 1975. – Vol. 13, pt. 3. – P. 227–243.

Рукопис отримано 14.09.2014.

М. М. Зінчук, *д-р геол.-мінерал. наук, професор, академік Академії наук Республіки Саха (Якутія), голова Західноякутського наукового центру АН РС(Я), Росія, м. Мирний, nnzinchuk@rambler.ru*

СПЕЦИФІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СКЛАДУ І ФОРМУВАННЯ КІМБЕРЛІТОВИХ ПОРІД

Наведено відомості про деякі загальні особливості складу і формування кімберлітових порід. Показано, що в процесі того, що відбувається услід “за прострілом” осадових товщ різкого падіння тиску і викликаного цим такого ж спаду температури, у верхній частині кімберлітових діатрем може утворитися лише бідне магнезією залізне скло, яке у зв’язку з обмеженою кількістю кремнезему є малостійким і може руйнуватися нарівні з олівіном.

Карбонатна складова загальної розплаву відособлюється ще до затвердіння силікатної частини або кристалізується (під час падіння температури), або розпадається (під час падіння тиску) з виділенням CO₂. Руйнування найменш стійкого з’єднання – головного мінералу кімберлітів олівіну відбувається під впливом вуглекислоти одночасно за всім обсягом породи з подальшою аморфізацією і переходом в колоїдний стан з подальшою кристалізацією і перекристалізацією серпентину.

Останній процес відбувається швидко, головним чином по краях колишніх зерен з формуванням псевдоморфоз, уздовж тріщин синерезису і по найцільніших ділянках гелю, а також по тріщинах олівіну в частково зруйнованому кімберліті.

Ключові слова: *кімберлітові породи, серпентин, карбонатна складова, кристалізація і перекристалізація, аморфізація, колоїдний стан, псевдоморфози.*

N. N. Zinchuk, *Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, prof., acad. West-Yakutian Scientific Centre of the Sakha (Yakutia) Republic Academy of Sciences, Mirny, Russia, nnzinchuk@rambler.ru*

ABOUT SOME SPECIFIC FEATURES OF COMPOSITION AND FORMATION OF KIMBERLITE ROCKS

Data about some general specific features of composition and formation of kimberlite rocks are provided. It is shown that in the process of occurring straight after “the shot” of sedimentary thick layers sharp pressure fall and caused by it the same temperature fall in the upper part of kimberlite diatremes only poor in magnesia ferriferous glass may form, which, due to limited quantity of silica, is slightly stable and can destroy equally with olivine. Carbonate constituent of general melt stands apart even before hardening of the silicate part and either crystallizes (when temperature falls), or resolves (when pressure falls) with removal of CO₂. Destruction of the least stable compound – the main mineral of kimberlites, olivine, takes place under the influence of carbonic acid simultaneously over the whole volume of rock with subsequent amorphization and transfer to colloidal state with further crystallization and recrystallization of serpentine. The last process occurs fast, mainly over the edges of former grains with formation of pseudomorphs, along fissures of syneresis and on the most compact parts of gel, as well as along fractures of olivine in partially destroyed kimberlite.

Keywords: *kimberlite rocks, serpentine, carbonate constituent, crystallization and recrystallization, amorphization, colloidal state, pseudomorphs.*