

**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

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПОСТМАГМАТИЧЕСКИХ И ГИПЕРГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОРОД

*По результатам комплексного изучения постмагматических и гипергенных изменений состава кимберлитов показано, что процессы вторичного минералообразования пород диатрем проходили в большом интервале температур и вызванном их спадом изменении реакции среды от щелочной к кислой с последующей нейтрализацией, что зафиксировалось в форме растворения, дорастания и возникновения новых генераций вторичных минералов. В зависимости от конкретных условий минералообразования, на каждом конкретном участке диатрем, по исходным магнезиальным силикатам возникли вторичные минералы, образование которых происходило либо без выноса вещества из материнской породы, либо с выносом (частично или полностью) магния или кремнекислоты. Разработан комплекс методов для идентификации, количественного подсчета и картирования постмагматических и гипергенных минералов кимберлитовых пород. Наряду с пневматолитово-гидротермальными процессами, которые протекали в обстановке, близкой к изохимической, в кимберлитовых диатремах широко распространен метасоматоз (автометасоматоз). Предложено, что под новообразованиями кимберлитов следует понимать все минералы, сформировавшиеся из термальных растворов, под которыми подразумеваются не только постмагматические ювенильные, но и образовавшиеся как в период формирования трубок, так и на более поздних этапах их становления (в том числе и в гипергенных условиях). Приведены типоморфные особенности идентифицированных в кимберлитах минералов классов: силикаты, карбонаты, оксиды и гидрооксиды, сульфиды, сульфаты, галогениды, фосфаты и бораты. Установлены отличия в минеральном составе новообразований не только в различных трубках, но и в плане отдельных тел или блоков одной и той же диатремы. На примере конкретных диатрем Сибирской платформы построены карты и разрезы распределения основных породообразующих минералов как в плане отдельных горизонтов разрабатываемых алмазных месторождений, так и на их разведанную глубину. Показаны возможности использования вторичных минералов кимберлитов как для повышения эффективности прогнозно-поисковых работ, так и технологических процессов при извлечении алмазов из пород.*

**Ключевые слова:** *постмагматические и гипергенные процессы, типоморфизм вторичных минералов, кимберлиты, метасоматоз.*

При изучении кимберлитов главное внимание исследователями уделяется реликтовым структурам и текстурам исходной породы, по которым построены практически все классификации кимберлитовых пород, кратко рассмотренные

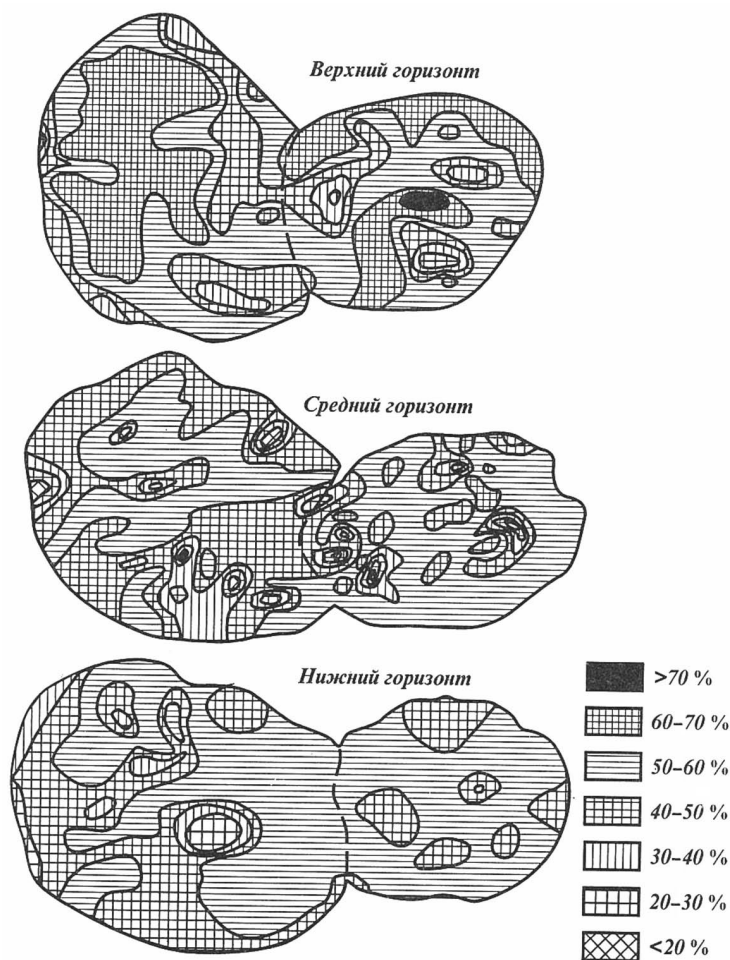
нами раньше. Основное внимание обычно придается изучению псевдоморфоз, их формы и расположения в породе. В то же время незаслуженно малая роль отводится исследованию цементирующей массы этих уникальных природных магматитов.

В кимберлитовых породах, в которых сохранилось реликтовое строение, цементирующая масса в основном представлена: а) субмикроскопическим серпентином; б) пелитоморфным карбонатом; в) стекловатым веществом. Многие исследователи считают, что и серпентин цемента представляет собой апостекло, хотя в свежем виде в кимберлитах оно никем и никогда не описывалось. Стекло не обнаружено также в обломочном материале этих пород. К постмагматическим преобразованиям кимберлитов обычно относятся изменения, которые претерпели магматические породы в пневматолито-гидротермальную стадию метаморфизма. Верхней температурной границей обычно указывается 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. Наряду с автотемпературными процессами, которые протекают в обстановке, близкой к изохимической, в кимберлитовых телах широко распространен метасоматоз (автотемпературный). Под новообразованиями кимберлитов мы понимаем все минералы, сформировавшиеся из термальных растворов, под которыми подразумеваются не только постмагматические ювенильные, но и образовавшиеся как в период формирования трубок, так и на более поздних этапах их становления, в том числе и в гипергенных условиях. Химические анализы кимберлитов, кроме выяснения петрохимических особенностей пород, нами использовались для пересчетов на минеральный состав по методике, разработанной совместно с Ю. М. Мельником [5, 11, 22]. Для эффективного использования этого метода важным является параллельное изучение этих же проб с помощью рентгенодифрактометрического метода, дающего для общего контроля фазовый перечень присутствующих в породах минералов. При пересчетах химических анализов кимберлитов учитывались не только вторичные минералы, но

и некоторые реликтовые. В первую очередь при таких пересчетах определяются компоненты кальциевых минералов, поскольку для них характерны различные радикалы и обычно не типичны широкие изоморфные замещения. Из кальциевых минералов в кимберлитовых породах установлены кальцит, доломит, гипс, перовскит и апатит. Поскольку апатит является обычным образованием кимберлитов (редко встречающийся в этих породах франколит предварительно уверенно диагностируется рентгеновскими исследованиями), то при перерасчетах всё количество  $P_2O_5$  соединяется с эквивалентной для этого минерала частью  $CaO$ , которая вычисляется из общего содержания компонента. Также поступаем с “образованием” гипса, соответственно соединяя  $CaO$  с сульфатным ангидритом и водой. Поскольку целестин и барит имеют локальное распространение (и приурочены они в основном к жильным образованиям), а другие минералы этой группы для кимберлитов изученных нами диатрем не характерны, то количество сульфата кальция, полученное путем пересчета, является довольно точным даже при незначительном содержании этого компонента в породе. Оставшаяся часть  $CaO$  вместе с  $CO_2$  идет на карбонат кальция, который здесь представлен двумя модификациями – кальцитом и арагонитом, причем последний встречается в этих породах редко. Если  $CO_2$  в избытке, то, добавляя  $MgO$ , рассчитываем кальцит и доломит. Оставшийся  $CaO$  вместе с  $TiO_2$  образует перовскит. Определенное количество  $MgO$  после вычета расходуемого на доломит, идет на флогопит, расчет которого проводится по концентрации в кимберлите  $K_2O$ . Поскольку других калийсодержащих минералов в кимберлитовых породах нами не установлено, то на “образование” слюды идет не только весь  $K_2O$ , но и соответствующие количества  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO$  и  $H_2O$ . Оставшееся после этого количество  $MgO$  пересчитывается на серпентин. Можно потом по оставшемуся количеству  $Al_2O_3$  предварительно расчи-

тать и хлорит. При расчете серпентина соответствующая часть  $MgO$ ,  $FeO$  и  $Fe_2O_3$  объединялась с эквивалентными количествами  $SiO_2$  и  $H_2O$ . Избытки  $MgO$  (по отношению к  $SiO_2$ ) и  $H_2O$  пересчитывались на брусит. Избыток  $SiO_2$  выделялся в виде отдельной фазы, которая в кимберлитах обычно представлена кварцем и халцедоном. Поскольку доминирующим сульфидом железа является пирит, то сульфидную серу “связывали” с соответствующей частью  $FeO$  в персульфид. Остальные сульфиды рассчитывались в зависимости от результатов рентгенографического и химического анализов. Количество  $FeO$ , оставшееся после вычитания на “образование” пирита, идет вместе с  $Fe_2O_3$  на маг-

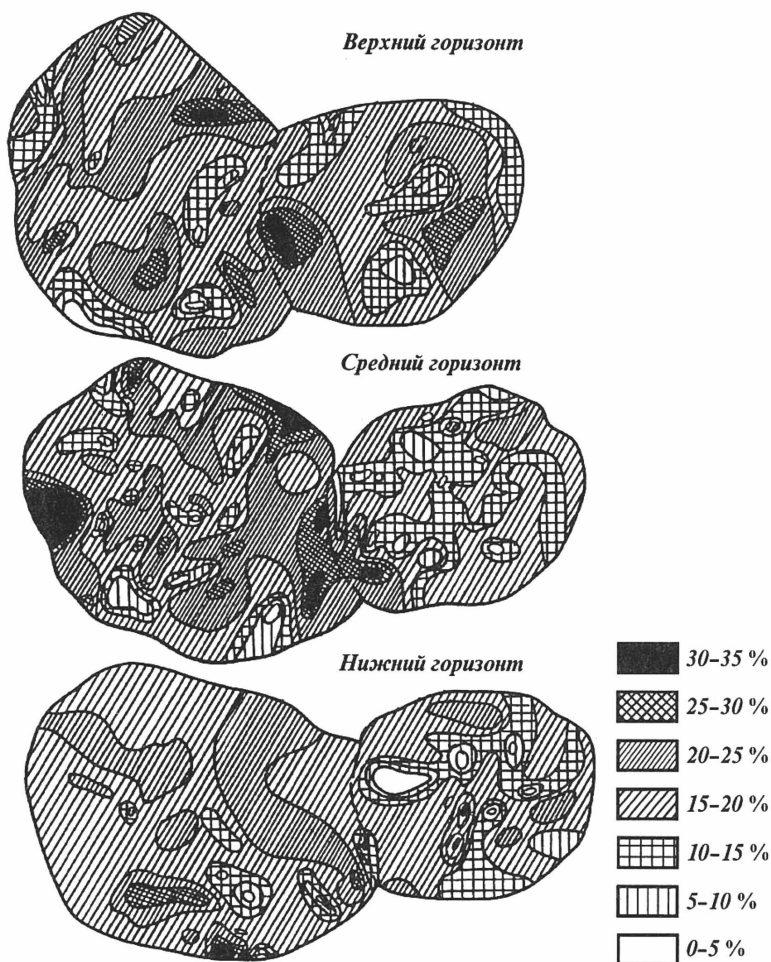
нетит. Следует отметить, что обычно  $FeO$  не хватает для “образования” ильменита и магнетита, поэтому оставшиеся  $Fe_2O_3$  и  $H_2O$  учитываются при расчете аутигенных гидроксидов железа (гётит, гидрогётит, маггемит и др.). Полученные таким образом (при пересчете химических анализов с рентгеновским контролем минеральных фаз) количественные данные по каждому из преобладающих минералов основной массы кимберлитов нами наносились на планы погоризонтальных опорных горизонтов, построенных обычно по материалам эксплоразведочных горных выработок, пройденных по сетке  $40 \times 40$  м (рис. 1 и 2), а также на геологопетрографические разрезы, построенные



**Рис. 1.** Распределение серпентина в кимберлитовых породах трубки Удачная

по результатам комплексного изучения керн разведочных скважин (рис. 3 и 4), что позволило получить объективные количественные данные по распределению основных материалов и выделению геолого-технологических типов руд. Остальные применяемые в настоящей работе методы петрофизических, петрохимических, минералогических, геохимических и других видов исследований детально описаны в наших предыдущих работах [3, 4, 6, 11, 12, 21, 24–27], в которых отмечены и отдельные незначительные усовершенствования и изменения в зависимости от типов изучаемых геологических объектов. Большое значение при изучении кимберлитовых пород уделялось обработке

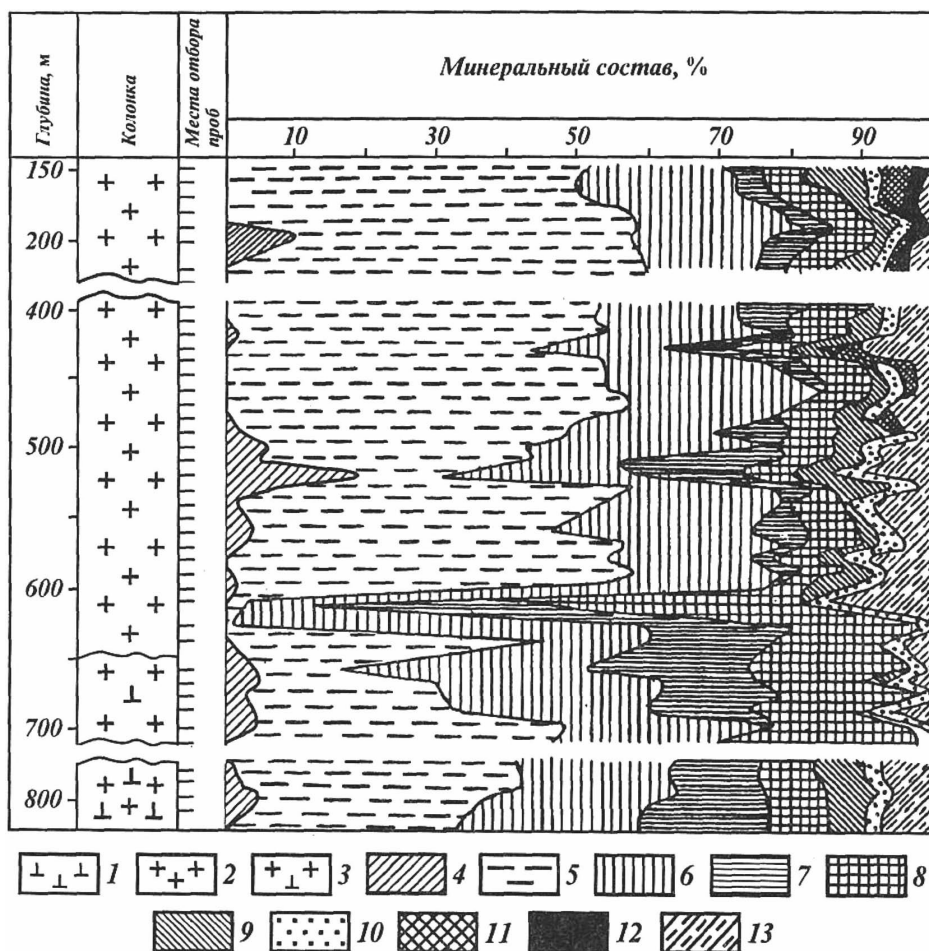
материалов комплексного изучения вещественного состава с применением широкого комплекса современных методов и подходов [3, 11–13, 20]. Для обработки химических анализов в различной степени измененных кимберлитов (как и развитых в алмазоносных регионах древних кор выветривания на породах различного состава) был использован многомерный непараметрический кластер-анализ, развиваемый нами совместно с В. Г. Хитровым [28]. Обобщающие особенности и закономерности, полученные с использованием этого метода, можно представить (в том числе и на плоскости) посредством взаимосвязанных индексов их валового химического состава – LM и ОК. Первый



**Рис. 2.** Распределение кальцита в кимберлитовых породах трубки Удачная

“лейко-мелано” индекс – LM определяется алгебраической суммой рангов содержания (в процентах;  $n = 10$ ) породообразующих оксидов в образце ( $R_1 = 1, 2, \dots, i, \dots, 10$ ;  $M = S_+ + S_-$ ), взятых со знаком “+” для светлоокрашенных компонентов, содержание которых возрастает в глобальном процессе эволюции горных пород от ультраосновных к кислым ( $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2\text{O}^+$ ) и со знаком “-” для темноокрашенных компонентов, содержание которых соответственно уменьша-

ется в указанном ряду пород ( $\text{MgO}, \text{FeO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{CaO}$  и  $\text{TiO}_2$ ). Второй индекс – ОК (индекс окисленности, выветривания) по этому методу определяется алгебраической суммой рангов содержания (в процентах) шести избранных породообразующих оксидов в той же породе, причем используются численные значения рангов  $R_i$ , полученные при первом, общем ранжировании:  $\text{ОК} = S''_+ + S''_- \dots$ , здесь  $S''_+$  представляет сумму рангов по оксидам, преимущественно накапливающимся в



**Рис. 3. Распределение минералов в основной массе кимберлитов трубки Удачная (по разведочной скважине 207):**

1 – 3 – петрографическая колонка: 1 – порфиновый кимберлит первого этапа внедрения, 2 – кимберлитовая брекчия второго этапа внедрения, 3 – кимберлитовая брекчия второго этапа внедрения с автолитами первого этапа; 4 – 13 – минералы: 4 – оливин, 5 – серпентин, 6 – кальцит, 7 – доломит, 8 – флогопит, 9 – хлорит, 10 – оксиды и гидроксиды железа, 11 – брусит, 12 – гипс+галит, 13 – прочие минералы

измененных (в том числе и выветривающихся) продуктах ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$ ), а  $S''$  – сумму рангов по оксидам, выносимым из исходных пород при постмагматических и гипергенных изменениях пород ( $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ).

Вторичные минералы кимберлитов составляют обычно более 90 % объема пород и представлены более 50 минеральными видами. Результаты комплексного диагностического изучения вторичных минералов кимберлитов и особенностей

их влияния на состав и облик пород показывают, что главными вторичными минералами кимберлитов являются серпентин и карбонаты, которыми в основном сложены эти породы. Ко второстепенным отнесены все остальные минералы, образовавшиеся на разных стадиях становления кимберлитовых трубок. Различные минералы классов – силикаты, карбонаты, оксиды и гидроксиды, сульфиды, сульфаты, галогениды, фосфаты, бораты и битумы – проявляют свойственные только им особенности

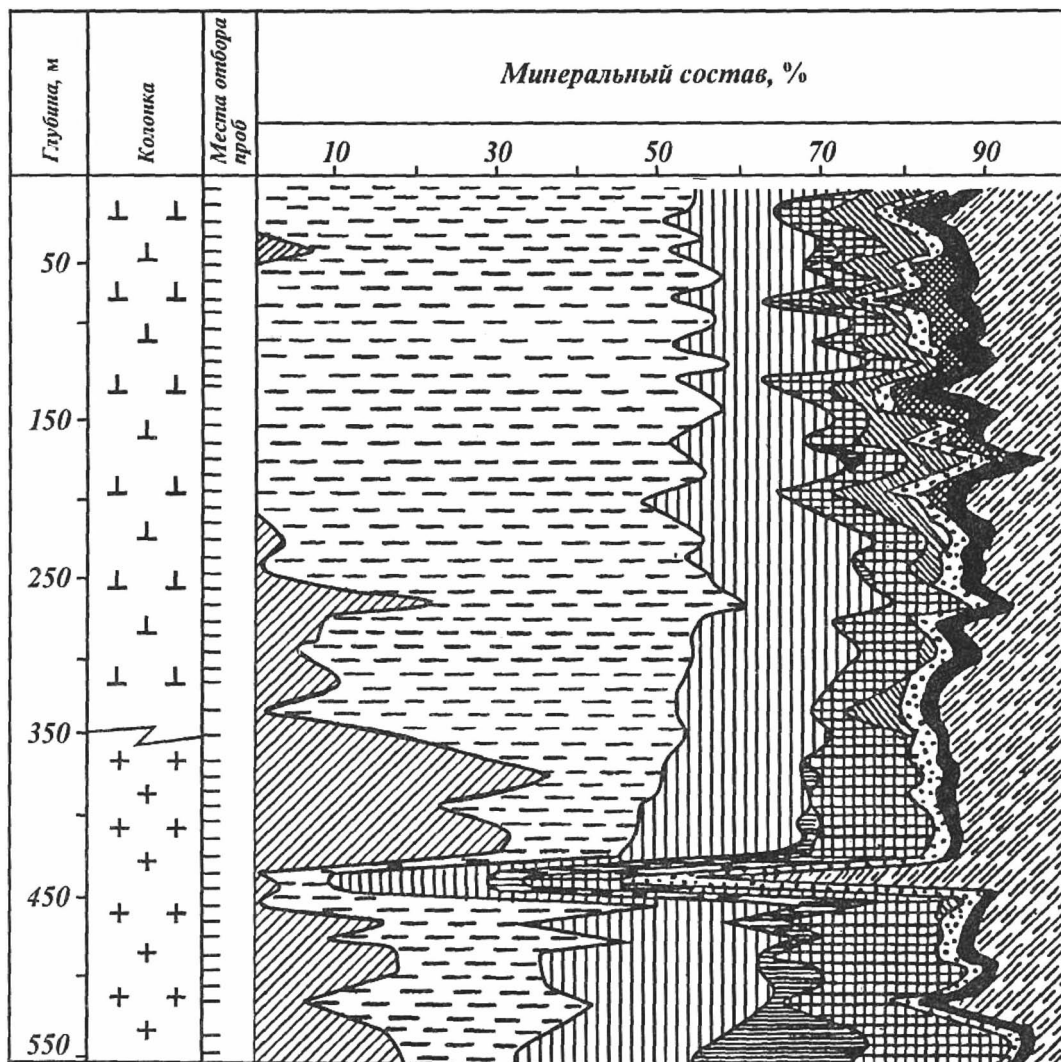


Рис. 4. Распределение преобладающих вторичных минералов в основной массе кимберлитов трубки Удачная (по разведочной скважине 225)

Условные обозначения смотрите к рис. 3

концентрации и распределения в породах и приводят к различному облику и составу кимберлитов. Проведенными исследованиями установлено [1–4, 6–20, 22–29 и др.] своеобразие качественно-количественного распределения в кимберлитовых породах силикатов (серпентин, флогопит, хлорит, вермикулит, тальк, монтмориллонит, сепиолит, таумасит), карбонатов (кальцит, доломит, арагонит, пироаурит, шортит, стронцианит, магнезит, гидромагнезит, хантит), оксидов и гидроксидов (магнетит, гематит, гётит, амакинит, кварц, халцедон, брусит), сульфидов (пирит, сфалерит, галенит, миллерит, пирротин, пентландит, халькопирит, точилинит), сульфатов (ангидрит, гипс, целестин, барит, эпсомит, метабазалюминит, брошантит), галогенидов (галит), фосфатов (франколит), боратов (екатеринит, ферросайбелиит) и битумов.

Распределение одного из характернейших вторичных минералов – *серпентина* (рис. 1, 3 и 4) в телах кимберлитовых трубок зависит не только от состава исходной магматической породы, но и от количества и природы ксенолитов, а также вторичных инфильтрационных процессов. Ксенолиты мантийных ультраосновных пород серпентинизируются одинаково, как и кимберлит (то есть первичные оливины и пироксены) частично или полностью замещаются серпентином, содержание которого определяется количеством этих исходных минералов в породе и степенью замещения. Для определения влияния на серпентинизацию кимберлитов гипергенных процессов проводилось сравнение минералогических карт различных опорных горизонтов. Так, по трубке Удачная построены такие карты (рис. 1) для горизонтов 190 (нижний), 250 (средний) и 295 (верхний) метров, по сути представляющие собой соответственно плотные, частично дезинтегрированные и выветрелые породы. Пространственное распределение серпентина в породах нижнего горизонта восточного тела трубки Удачная свидетельствует о достаточно равномерном содержании его в центральной части тела. При этом повышенные значения

тренда приурочены к контактам с вмещающими породами. К центру трубки содержание минерала постепенно уменьшается. Отчетливо фиксируется субширотная зона с более низкими значениями тренда, достигающими минимумов к контактам с западным телом и вмещающими породами на востоке. В западном теле содержание серпентина постепенно возрастает к контактам с восточным телом и убывает к юго-западным и западным границам. Вверх по разрезу (горизонт 250 м) содержание серпентина в восточном теле в среднем несколько уменьшается, но существенно возрастает неоднородность и разброс значений (дисперсия увеличивается более чем в два раза). Кимберлиты западного тела на этом опорном горизонте характеризуются некоторыми общими снижениями концентрации серпентина, при этом меняется его распределение (рис. 1). Заметное уменьшение концентрации минерала в восточном теле самого верхнего сравниваемого горизонта по сравнению с более глубокими его частями характеризуется одновременно и сменой специфики его распространения по площади. Верхний горизонт пород западного тела характеризуется более высокой степенью серпентинизации и четко выраженной концентрической зональностью распределения минерала с максимумом в центре трубки с постепенным снижением к периферии. Распределение серпентина на глубину трубки (рис. 3 и 4) подчеркивает степень серпентинизации оливина и других включений ксенолитов в кимберлитовой диатреме. Количество серпентина в ксенолитах осадочных пород определяется содержанием в исходном материале силикатов (особенно со слоистой структурой). Отсюда следует, что содержание серпентина в кимберлите представляет собой сумму количеств в различных по происхождению составляющих компонентов данной довольно сложной породы. Морфология агрегатов серпентина определяет структуру мономинеральной породы, то есть серпентинитов, представляющих в отдельных трубках (Ботуобинская, Нюр-

бинская и др.) продукты преобразования ультраосновных нодулей, а в большинстве случаев – только определенный участок породы, поскольку значительная ее часть сложена другими минералами, имеющими свою форму индивидов и агрегатов. Чисто серпентиновые агрегаты чаще всего видны у большинства псевдоморфоз по оливину, а также на некоторых участках цементирующей массы. Полностью серпентиновыми являются многие жилы, прожилки и неправильной формы выделения серпофита. Морфология агрегатов серпентина определяется размером частиц, их формой, расположением и взаимодействием между собой. Подавляющее большинство частиц серпентина представлено субмикроскопических размеров индивидами. Исключение составляет антигорит. Размер частиц хризотила и особенно лизардита бывает настолько малым, что приближается к микронному, а агрегаты становятся оптически изотропными или субизотропными. И только рентгенограммы фиксируют наличие упорядоченности в расположении отдельных слагающих данные частицы атомов и позволяют проводить уверенную диагностику этого составного компонента кимберлитов. Зачастую серпентин представлен смесью хризотила и лизардита, при этом доля первого выше в верхних часто выветрелых частях диатрем, а его выделения сосредоточены в жильных серпофитах, лизардит – в ядрах псевдоморфоз.

Следующим по распространенности компонентом кимберлитовых пород являются карбонаты, среди которых доминирует *кальцит*, который характеризуется широким многообразием форм выделений. Основная его масса, как известно, вместе с минералами группы серпентина, слагает (рис. 2–4) основной объем пород большинства кимберлитовых тел, “цементируя” дезинтегрированные породы и минералы различного происхождения. Резко меняется концентрация минерала в зависимости от степени постмагматического и гипергенного изменения кимберлитов, что также можно рассмотреть на

примере упомянутых трех опорных горизонтов диатремы Удачная. Так, в восточном теле диатремы вверх по разрезу постепенно возрастает содержание кальцита и убывает доломита. При этом нижний горизонт (190 м) характеризуется существенным разбросом значений, которые могут быть следствием как неравномерной карбонатизации кимберлитов, так и неравномерного распределения в трубке ксеногенного материала вмещающих диатрему пород. В западном теле содержание карбонатов также характеризуется существенным разбросом значений. В распределении кальцита наблюдается (рис. 2) обратная, по сравнению с восточным телом, закономерность – на верхнем горизонте содержание кальцита ниже, чем на двух предыдущих. На горизонте 190 м в восточном теле максимальные значения тренда кальцита тяготеют в основном к приконтактовым зонам трубки, свидетельствуя о частичной инфильтрации карбонатного материала из вмещающих кимберлитов пород. В западном теле этого горизонта распределение кальцита имеет довольно сложное строение и характеризуется (рис. 2) северо-западной ориентировкой элементов поверхностей тренда. Увеличение содержания кальцита фиксируется в приконтактовых зонах на северо-востоке и юго-западе трубки, причем непосредственно к контактам с вмещающими оно постепенно падает. В породах центральной части диатремы, начиная от юго-восточных контактов с восточным телом и до её северо-западных границ, кальцит распределен более равномерно и его содержание несколько ниже. К следующему среднему горизонту (250 м) в восточном теле трубки ситуация существенно меняется. Наиболее высокие содержания кальцита зафиксированы на этом горизонте в приконтактовой зоне на западе, а остальная часть трубки характеризуется достаточно равномерным распределением этого минерала с постепенным убыванием к её восточным границам. В западном теле этого горизонта распределение карбонатов существенно меняется. И бо-



лее значительно меняются особенности распределения минерала на самом верхнем горизонте (295 м) и характеризуются (рис. 2) в восточном теле тремя зонами экстремумов северо-западного простирания – максимумы на восточном фланге и у контакта с западным телом разделены зоной пониженного и относительно равномерного распределения кальцита. По-разному ведет себя минерал и на глубину описываемого месторождения (рис. 3 и 4), что связано с различной степенью карбонатизации пород диатремы. Часть кальцита выполняет пустотно-трещинные образования, формируя в кимберлитах прожилки и друзы, жеоды и щетки. В качестве позднего акцессорного минерала кальцит установлен нами [11, 25 и др.] и в некоторых типах глубинных пород, в частности в ильменит-титан-клиногумитовых дунитах (парагенетическая ассоциация Тi-клиногумит+К-рихтерит+кальцит+апатит+пирротин), рутил-цирконовых сростках (циркон+флогопит+кальцит), рутиловых эклогитах (амфибол+флогопит+кальцит+апатит±кварц), ильменит-амфиболовых вебстеритах (амфибол+циркон+апатит+кальцит) и некоторых глиммеритах (флогопит+кальцит±амфибол). Кальцит известен также в виде включений в цирконах, гранатах и оливинах, кроме того микро-включения кальцита зафиксированы в некоторых алмазах Заира и Ботсваны [27]. На данном этапе изученности этого минерала можно выделить: а) ранний (глубинный) первичномагматический кальцит (включения в глубинных минералах), образующийся из первичной водно-силикатно-карбонатной магмы; б) глубинный метасоматический кальцит (продукт верхнемантийного метасоматоза глубинных пород) и в) собственно “кимберлитовый” кальцит, кристаллизация которого связана с различными процессами формирования кимберлитовых тел. Последний по способу и времени образования кальциты можно подразделить на: а) “кимберлитовый”, слагающий основную массу пород; б) “метасоматический” (продукт карбонатизации некоторых ми-

нералов и пород) и в) поздний гидротермальный, выполняющий пустотно-трещинные образования. Следовательно, кальцит с полным основанием можно отнести к “сквозным”, но полигенным минералам “кимберлитового” процесса, всестороннее исследование которых может дать новую информацию о природе и специфике этого процесса на различных этапах его эволюции. Однако при этом важно выяснить, несет ли кальцит того или иного этапа или стадии кимберлитообразования информацию о составе глубинного водно-силикатно-карбонатного флюида или отражает только геохимическую специализацию вмещающих пород. В то же время, в числе открытых или весьма дискуссионных еще остаются вопросы об устойчивости и равновесности минерального состава кальцитсодержащих ассоциаций. Один из таких вопросов – являются ли они закономерными продуктами кристаллизации той или иной стадии кимберлитообразования или представляют собой случайные неравновесные (наложенные) ассоциации нескольких постмагматических стадий этого процесса? Не менее принципиальными сегодня можно считать вопросы информативности и типоморфного значения микросостава и свойств кальцита из кимберлитов, что до сих пор затрудняет их использование в качестве генетических индикаторов условий кимберлитообразования. Необходимо отметить, что к настоящему времени в пустотно- жильных образованиях из кимберлитов установлено большое количество кальцитсодержащих ассоциаций, в том числе: кальцит+пирит±(сепиолит); кальцит+пирротин±(сепиолит); кальцит+пирит+пирротин±(сепиолит); кальцит+(сепиолит)+(талк); кальцит+целестин+пирит±серпентин±(сепиолит); кальцит+целестин+кварц±(сепиолит); кальцит+целестин±(сепиолит); кальцит+серпентин+кварц±(сепиолит); кальцит+серпентин±(сепиолит); кальцит+халькопирит+серпентин+(сепиолит); кальцит+доломит+серпентин+(сидерит); кальцит+пирит+сфалерит+(сепиолит); кальцит+магнетит+

пирит; кальцит+магнетит+серпентин; кальцит+арагонит±магнетит; кальцит+гетит+магнетит; кальцит+пироаурит+пирит+магнетит. Наиболее устойчивыми и часто встречающимися являются ассоциации: кальцит+пирит±(сепиолит), кальцит+пирит+пирротин±(сепиолит); кальцит+пирит+пирротин±(сепиолит); кальцит+(сепиолит), кальцит+целестин+пирит±серпентин±(сепиолит) и кальцит+магнетит+серпентин. Редки кальцитсодержащие ассоциации с халькопиритом и сфалеритом. Сепиолит, тальк и сидерит – более поздние минералы этих ассоциаций и не связаны единым процессом минералообразования с кальцитом и сосуществующими с ним минералами, то есть не являются парагенетическими. Помимо органического вещества, в кристаллах кальцита рентгеновскими методами и методами ИК-спектроскопии диагностированы включения серовато-зеленого серпентина таблитчатого облика, кристаллы и сростки пирита, пирротина, магнетита, игольчато-пластинчатый целестин, а в агрегатном кальците – сростки и двойники кристаллов сфалерита. Особый интерес представляют кальцитсодержащие ассоциации из “плавающих рифов” – крупных мегаксенолитов вмещающих карбонатных пород в кимберлитах. Степень перекристаллизации разных их блоков и участков была различной, поэтому такого рода мегаксенолиты, благодаря своему объёму, как бы “растянули” во времени и “сохранили в памяти” все особенности процесса взаимодействия “кимберлитовых” расплавов с вмещающими породами. Один из таких мегаксенолитов известен у контакта западного тела трубки Удачная. О нем неоднократно упоминалось в литературе, но детального описания всех его минеральных ассоциаций и характеристики условий их образования пока не приводилось, хотя, по нашему мнению, это – уникальный модельный объект для всестороннего изучения вышеупомянутого процесса. В результате исследований в пустотно-трещинных образованиях этого мегаксенолита нами были установлены

следующие кальцитсодержащие ассоциации: кальцит (ранний-I)+опал+халцедон+кварц±пирит; кальцит-I±опал+кварц; кальцит-I+кварц+кальцит (поздний-II); кальцит-I+магнетит+кальцит-II; кальцит-II+магнетит+арагонит; опал+кварц+кальцит-II±пирит; кальцит-II+флюорит (последний первоначально был принят нами за кальцит-II, так как визуально практически ничем не отличался от крупных обломков этого минерала в разрушенном взрывом мегаксенолите). Как видим, по минеральному составу (также как и по форме выделений) перечисленные выше ассоциации существенно отличаются от таковых в кимберлитах. Встречаются ассоциации, в объеме которых преобладает кальцит, но чаще всего – минералы группы кварца, нарастающие на “ониксоподобные” сферы коричневого кальцита ранней генерации. Отметим важность изучения в кальците спектра TR-элементов, что может способствовать определению природы этих элементов в кимберлитах.

В ряде кимберлитовых трубок (Интернациональная и др.) значительную долю состава пород составляет *доломит*. По имеющимся минералогическим данным образование доломита во времени охватывает достаточно широкий интервал: от начала процессов метасоматоза верхнемантийных пород (наличие включений доломита в титан-клиногумите и К-рихтерите) до заключительных стадий гидротермальных процессов в пустотно-трещинных образованиях остывающего “кимберлитового” расплава. Согласно классическим представлениям о закономерностях кристаллизации доломита в природе, своеобразными катализаторами доломитообразования в кимберлитах могут быть различные соли и сульфаты. В первую очередь этим можно объяснить повышенную частоту встречаемости доломита в виде тонкоагрегатных сростаний с ангидритом, целестином и кальцитом и чрезвычайную редкость его самостоятельных выделений в кимберлитах в целом. Менее распространенным карбонатом в кимберлитах является арагонит.

В целом по изучению карбонатов из гидротермальных пустотно-трещинных образований в кимберлитах Сибирской платформы (СП) представляется возможным сделать один из основных выводов, что различные ассоциации сосуществующих минеральных фаз (серпентин+кальцит±магнетит±пирит±пирротин±целестин±арагонит±кварц±гипс±халькопирит±сфалерит±гетит±пироаурит) в пустотно-трещинных образованиях из различных кимберлитовых тел, горизонтов и участков следует рассматривать в качестве устойчивых и закономерных парагенетических ассоциаций, отражающих общий характер физико-химических процессов данной стадии гидротермального минералообразования при формировании кимберлитов. Из числа изученных карбонатов наиболее информативным в генетическом отношении является кальцит и, в первую очередь, его рентгенолюминесцентные характеристики. Присутствие TR-центров излучения в кальцитах из пустотно-трещинных образований в кимберлитах однозначно свидетельствует о том, что даже на заключительном этапе гидротермального процесса этот минерал сохраняет информацию о составе глубинного водно-силикатно-карбонатного флюида. Каких-либо структурно-химических признаков, обусловленных геохимической специализацией вмещающих карбонатных пород в изученных кальцитах, пока не установлено. По полученным данным анализа форм выделений кальцит-содержащих ассоциаций, в кимберлитах наиболее поздними являются прожилки кальцита (часто – мономинеральные).

Одним из весьма интересных вторичных минералов является *пироаурит*, который впервые был установлен [23] в кимберлитах трубки Удачная в виде прожилков и гнезд волокнистого и кристаллического пироаурита, ассоциирующего с кальцитом, магнетитом и серпофитом. Во включениях ультраосновных пород этой же трубки был позднее диагностирован пластинчатый пироаурит. Комплексное исследование вещественного состава разрабатываемых ме-

сторождений алмазов СП позволило нам получить новые данные об особенностях распределения и генезиса рассматриваемого минерала. Как в мономинеральных выделениях, так и в смеси новообразований пироаурит уверенно идентифицируется по серии устойчивых к насыщению органическими наполнителями диагностических рефлексов. Параметры элементарной ячейки минерала ( $a_o=0,3103$  нм,  $c_o=2,340$  нм) хорошо согласуются с литературными данными [26]. На кривых ДТА дериватограмм таких образцов пироауриту соответствуют четкие эндотермические эффекты в области температур 210–285 °С и 460–485 °С. Показатели преломления минерала ( $n_o=1,563$ ;  $n_e=1,539$ ) очень близки к приводимым для пироаурита в литературе. Различные кимберлитовые трубки характеризуются специфическими особенностями вторичного минералообразования, что в значительной степени связано с геологическим строением месторождений, их составом, влиянием вмещающих пород, гидрогеологическими условиями и др. Так, например, в разрезе глубоких горизонтов трубки Мир наблюдается довольно частая смена петрографических типов пород, но при этом четкой закономерности в распределении по типам кимберлитов всего изученного разреза трубки (до 1 200 м) как реликтовых, так и вторичных минералов не отмечено. Вместе с тем, анализ смены на глубину прожилковой минерализации показал, что нередко вместо исчезнувших новообразований появляются другие, как, например, гипс установлен в верхней части трубки (до глубины примерно 625 м), на средних горизонтах (615–660 м) отмечается целестин, ассоциирующий, как правило, с ограненным кальцитом, а на более глубоких горизонтах трубки часто встречается галит в ассоциации с ангидритом и реже – гипсом. Здесь же на глубоких горизонтах довольно характерным прожилковым минералом кимберлитов трубки Мир является пироаурит. Часто голубоватые и голубовато-зеленые выделения последнего наблюдаются в прожилках (мощностью до 3–5 см) вместе с галитом. Волокнистые

агрегаты пирроаурита в таких случаях выросли на стенках трещин и впоследствии были сцементированы галитом. Длина уплощенных волокон минерала здесь достигает 0,5 см. Не все волокна расположены перпендикулярно к субстрату, часть из них находится под небольшим углом, другие залегают почти параллельно стенкам, хотя их “корни” перпендикулярны к основанию. Изучение таких участков в штуфах позволяет предполагать, что до того как отложилась соль, произошло вдоль трещин смещение блоков и загибание волокнистых агрегатов пирроаурита, образовавшихся раньше. Следует отметить, что указанные агрегаты в ассоциации с галитом нередко обохрены. При этом иногда гидроокислы железа цементируют волокна пирроаурита. В этих случаях на плоскости трещин параллельно расположены лейстовидно-волокнистые выделения пирроаурита синевато-зеленого цвета, который в отдельных участках переходит в белую асбестовидную разность минерала. Волокна последнего обычно параллельны друг другу в плоскости стенки трещин, на которых спорадически встречаются конусовидные выделения гидроокислов железа. Нередко минерал вместе с серпентином слагает крупные (до 6 см) зеленовато-серые жеоды. В ряде разрезов отмечено зональное строение псевдоморфоз серпентина. Так, иногда центральная часть таких выделений имеет темно-зеленую густую окраску, а периферическая – более светлую (чаще всего серовато-зеленую). Внутри обеих зон таких псевдоморфоз отмечены мелкие (до 3–5 мм) выделения пирроаурита. Последний часто встречается и среди жильных образований в серпофитизированных кимберлитовых брекчиях, где ассоциирует с галитом, кальцитом и ангидритом. Пирроаурит здесь образует полусферы, которые покрыты бесцветными более поздними минералами. Существенные концентрации пирроаурита отмечены нами также при изучении состава кимберлитовых тел Далдыно-Алакитского района (трубки Сытыканская, Удачная, Юбилейная и другие). За-

метно повышенные концентрации этого минерала зафиксированы в породах трубки Сытыканская [10, 11]. Пирроаурит в отдельных горизонтах кимберлитов данной трубки выполняет многочисленные прожилки, линзочки и пустоты различной формы и размеров, иногда достигающие до 3–4 см в поперечнике. Минерал характеризуется голубоватой и голубовато-зеленой окраской, изменяющейся в зависимости от степени измененности и его парагенезисов (с кальцитом, серпентином и другими новообразованиями). В отдельных интервалах (300–500 м) кимберлит разбит многочисленными тонкими (волосовидными) прожилками и микропрожилками, выполненными пирроауритом и кальцитом. Частое расположение таких прожилков (через 3–4 см друг от друга), а также их непостоянная мощность (отмечаются многочисленные пережимы и раздувы) придают отдельным участкам породы петельчатый и пятнистый облик. Пирроаурит здесь имеет тонкочешуйчатое строение. Фиксируются также прожилки голубоватого пирроаурита, ассоциирующего с тонкозернистым магнетитом и буроватым серпентином. Магнетит обычно в этих образцах выполняет центральную часть прожилков (или пустот) и нередко покрыт буроватыми гидроокислами железа. Довольно часто в кимберлитах глубоких горизонтов трубки встречаются концентрически зональные стяжения (до 3 см в поперечнике), сложенные пирроауритом, серпентином и кальцитом, а иногда – только пирроауритом и кальцитом. В основной массе кимберлитовых брекчий отдельных горизонтов трубки Сытыканская существенно увеличивается (до 40 %) концентрация пирроаурита, что придает породе в целом голубоватый оттенок и макроскопически отличает от других типов кимберлитов. В кимберлитовых породах трубок Удачная и Юбилейная пирроаурит также отмечен в парагенетической ассоциации с кальцитом и серпентином. В этих телах минерал встречается в виде отдельных голубовато-зеленых ромбических кристаллов, а также сферических

и волокнистых образований. Последние иногда образуют маломощные прожилки и мелкие жёоды. Наибольшие концентрации пироаурита отмечены в кимберлитовых породах восточного тела трубки Удачная, где он нередко образует мелкие серовато-коричневые прожилки, мелкочешуйчатые выделения на поверхности в грязно-серых измененных кимберлитах, а в отдельных участках им обогащена основная масса пород. Образование пироаурита происходит из углекислых растворов магния при взаимодействии их с растворимыми солями окисного железа. Наиболее вероятной формой окисного железа в растворе является сульфатная. Пироаурит является неустойчивым минералом и при разрушении замещается гидроокислами железа. Разрушение жильного пироаурита часто происходит уже на значительных глубинах. Поэтому в верхних горизонтах разрабатываемых месторождений неизменный пироаурит встречается сравнительно редко. Следовательно, пироаурит имеет широкое распространение в кимберлитовых породах СП, причем наиболее характерна пироауритизация для глубоких горизонтов месторождений, где минерал нередко является порообразующим компонентом. Учитывая большую роль минерала в процессе технологической отработки месторождений, вопросам изучения пироауритизации кимберлитовых тел следует уделять пристальное внимание, что может быть достигнуто при комплексном изучении вещественного состава (особенно при использовании современных физических методов исследований). Остальные карбонаты (шортит, стронцианит, гидромагнезит, хантит) встречаются в кимберлитовых породах СП в резко подчиненном количестве.

В кимберлитах Алакит-Мархинского, Далдынского, Верхнемунского и других полей СП часто фиксируется *магнетит* в количестве от долей процента до 2–3, реже 5 %, образующийся в период становления кимберлитовых тел и на последующих этапах их эволюции. По данным рентгеновских исследований, особенностью рас-

сматриваемого магнетита является разная степень развития по нему *маггемита* или  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ( $d=0,2520$ ;  $0,2087$  и  $0,1606$  нм). Минералы когерентно связаны друг с другом и имеют сходные структуру и состав. Маггемит в кимберлитах представляет промежуточную стадию процесса гипергенного окисления магнетита в гематит. В соответствии с этим у маггемита значение  $a=0,8340$  нм, тогда как у магнетита оно составляет  $0,8397$  нм [9–11, 21]. Указанные изменения дифракционной картины свидетельствуют о начале структурных преобразований исходного минерала. В целом по данным изучения кимберлитов из ряда трубок основных алмазоносных районов СП можно констатировать, что магнетит в них по степени окисленности представляет ряд, в пределах которого условно могут быть выделены три группы: а) магнетит в виде крупных выделений с хорошей степенью окристаллизованности и отсутствием признаков перехода в маггемит (трубки Невидимка, Молодежная и др.); б) мелкокристаллические разновидности магнетита, встреченные либо в виде гнезд и линзовидных скоплений, либо в виде зерен, равномерно распределенных в породе; в) “пылевидные” разновидности магнетита, почти равномерно пропитывающего кимберлитовую породу.

Во многих кимберлитовых трубках среди вторичных новообразований встречаются *кварц* и его разновидность *халцедон*, которые детально изучены на примере трубки Удачная и могут влиять на надежность процессов извлечения алмазов из кимберлитов. Повышенные концентрации кварца приурочены не только к самым верхним горизонтам трубки (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 щетки, жилы и прожилки. Нередко кристаллы кварца на кварц-опал-халцедоновой подложке можно наблюдать непосредственно на измененной в различной степени кимберлитовой породе. Размеры квар-

цевых индивидов самые разнообразные. Характерной особенностью большинства изученных кристаллов кварца является скульптурированность всех граней, обусловленная, скорее всего, процессами растворения, а также наличием многочисленных включений пирита, марказита, гётита и других вторичных минералов. В кимберлитовых породах трубки Удачная кварц встречается как бесцветный, так и окрашенный в различные оттенки бурого, серого и фиолетового цветов. Бурые и серые цвета минерала аллохроматические и обусловлены механическими примесями гидроксидов железа (бурые) или микровключениями сульфидов железа (серые). Во всех случаях больше окрашены головки кристаллов. Присутствие среди кварцев из кимберлитов значительного числа окрашенных в аметистовидный цвет образцов позволяет нам с полным основанием отнести их к низкотемпературным образованиям, которыми является большинство природных аметистов. На низкотемпературный характер кристаллизации кварца в кимберлитах этой трубки указывает также присутствие во многих изученных кристалликах включений гётита – минерала, обычно образующегося при температурах ниже 200 °С. Эти данные хорошо согласуются и с некоторыми результатами исследований температур гомогенизации газовой-жидких включений в кальците из этого же месторождения, по которым верхний температурный интервал кристаллизации кальцита обычно не превышает 350 °С. Для халцедона не свойственно образование кристаллов. Нередко агрегаты этого минерала встречаются в виде псевдоморфоз по другим, не содержащим кремнезема, минералам, что наблюдается в верхней части кимберлитовой трубки Удачная. Обычно из халцедона начинают свой рост кристаллы кварца, головки которых образуют друзы. В случае образования псевдоморфоз самые мелкие (пелитоморфные) частицы халцедона расположены на поверхности первых. Довольно часто выделения кварца из трубки Удачная обволакиваются вязким

битумом или его тонкой пленкой. Пленки битумов имеются и на стыках отдельных шестоватых агрегатов или нередко густым слоем покрывают кварцы.

К широко распространенным минералам кимберлитовых пород относится *флогопит*, а при его содержании более 15–20 % объема выделяется слюдястый или лампрофировый тип кимберлитов. В кимберлитах установлено три генерации флогопита. Первая генерация представлена вкрапленниками, которые образовались, по-видимому, в протоматматический (подкорový) этап кристаллизации кимберлитовых минералов. Возможно, часть вкрапленников флогопита образовалась при метасоматическом замещении других протоматматических минералов кимберлитовой породы, например, граната в условиях верхней мантии. Флогопит второй генерации образует в основной массе кимберлитов мелкие пластинчатые и чешуйчатые кристаллы с хорошо сформировавшейся огранкой (часто с характерным флюидальным расположением). Эта генерация минерала связана с заключительным этапом кристаллизации кимберлитового расплава в условиях земной коры в трубках и жилах. Третья генерация представлена чешуйчатым флогопитом метасоматического происхождения, образовавшимся при воздействии остаточных постмагматических растворов на консолидированные кимберлитовые породы. Флогопит метасоматического происхождения образуется также по ксенолитам осадочных пород. Кроме того, флогопит входит в состав определенного типа ксенолитов глубинных пород, встречающихся в кимберлитовом материале. Наиболее часто он является порообразующим минералом ильменит-гранатовых гипербазитов, пироксенитов, реже – перидотитов, иногда образует почти мономинеральные породы – глиммериты. Судя по характеру структур и взаимоотношениям с другими минералами ксенолитов, флогопит в ряде случаев является первичным минералом, возникшим в условиях равновесия с пиропом. Этот вывод не противо-

речит и результатам экспериментальных работ, согласно которым флогопит устойчив при высоких давлениях вплоть до 66 кбар. В условиях автотематоморфизма кимберлитов флогопит, как и в других типах ультраосновных пород, подвергается различным изменениям, в том числе вермикулитизации и хлоритизации. Особенно интенсивно флогопит изменен в кимберлитах Малоботубинского, Далдыно-Алакитского и Среднемархинского алмазонасных районов. Здесь в ряде трубок флогопит превращен либо в желтовато-бурый, серовато-зеленый или белесый вермикулит, либо в буровато-зеленый хлорит. В кимберлитах более северных районов степень изменения флогопита не столь велика, но и здесь в ряде трубок и жил значительная часть этого минерала превращена в вермикулит и хлорит. С глубиной степень вторичного изменения флогопитов снижается.

В целом в кимберлитовых породах СП доля слюдястых образований обычно не превышает 10 % (в африканских трубках их содержание нередко достигает 40 % объема породы). Довольно часто в кимберлитах наблюдается сонахождение триоктаэдрических слюд с оксидами железа. Часто триоктаэдрические слюдястые образования приурочены к приконтактовым с карбонатами участкам, а также к мелким и маломощным кимберлитовым жилам, главным минералом которых является кальцит. В отношении изменения слюд установлено три варианта: а) полное замещение исходного минерала другими компонентами (например, карбонатами); б) преобразование в другие силикаты слоистого строения (хлоритизация, вермикулитизация, смектитизация); в) постепенное разрушение, сопровождаемое последовательным выщелачиванием оснований с конечным образованием каолинита кремнеили кислородного каркаса. Образование промежуточных форм (типа гидробиотита) нельзя приравнивать к вермикулитизации триоктаэдрических слюд, поскольку последняя проходит в гидротермальных условиях и, как правило, по всему объ-

ему подвергшейся данному процессу породы с образованием устойчивой фазы (а значит и среды, в которой она находится). Флогопит в восстановительной обстановке преобразуется в хлорит от  $Fe^{2+}$ -Mg- до практически Mg-типа, а в окислительной – в вермикулит и последующие продукты преобразования последнего.

В большинстве случаев вторичные минералы отмечаются в виде отдельных ассоциаций, сложенных двумя или тремя минералами. Наиболее распространены в кимберлитах [11, 15, 22] следующие ассоциации вторичных минералов: серпентин-карбонат-магнетит; серпентин-хлорит; серпентин-брусит-доломит; кальцит-оксиды-гидроксиды железа; кальцит-сульфиды железа; кальцит-кварц-сепиолит; кальцит-пироаурит; кальцит-гипс и гидромагнетит-эпсомит. Большинство перечисленных ассоциаций парагенетические. Входящие в их состав минералы возникли из пересыщенных водных растворов непосредственно на месте (в кимберлитах), замещая исходные минералы, либо отложились по трещинам. Выпадение последних произошло за счет растворимых в воде солей. Преобладающая часть вторичных минералов в кимберлитах возникла в процессе гидролиза силикатов и других солей магния. В зависимости от конкретных условий на каждом отдельном участке трубок по исходным магнезиальным силикатам возникли вторичные минералы, образование которых происходило либо без выноса вещества из материнской породы, либо с выносом (частично или полностью) магния или кремнекислоты. Обилие воды в системе способствовало появлению серпентина, брусита и других богатых водой минералов.

В кимберлитовых породах СП определенную роль во вторичном минералообразовании сыграл сероводород, связавший железо в сульфиды и тем самым заблокировавший образование не свойственных кимберлитам карбонатов железа. Сероводород в некоторых случаях послужил источником возникновения серной кислоты, сыгравшей большую роль в процессе вторичного минералообразования. Однако

образование гипса происходило не только в результате воздействия серной кислоты на карбонатные породы, но и при выпадении этого минерала из раствора сульфата кальция в связи с его пересыщением из-за испарения или вымерзания воды. Исследованиями показано [7, 11], что среда вторичного минералообразования была сравнительно бедна  $\text{CO}_2$ , в связи с чем возникли основные водные карбонаты (пироаурит и гидромагнезит). Углекислота в первую очередь расходовалась на образование карбонатов кальция и кальций-магниевого минералов. Чисто магниевые безводные карбонаты в целом для кимберлитов не характерны. Излишек в системе минералообразования магния определил в определенной мере образование более богатых слоистых силикатов (серпентина вместо талька), а также гидроксидов (брусита). Повышенные кальций-магниевого отношения во многих случаях способствовали образованию вместе с доломитом карбоната кальция, обычно представленного арагонитом, возникновение которого в данном случае энергетически более выгодно, чем кальцита.

В процессе многолетних исследований установлены отличия в минеральном составе новообразований не только в разных трубках, но и в плане отдельных тел или блоков одной и той же трубки. Так, в кимберлитах западного тела трубки Удачная вторичные процессы проявились более интенсивно (рис. 1), отчего породы здесь иногда полностью переработаны. Вторичные изменения пород восточного тела выражены слабо, что подчеркивается неполной серпентинизацией оливина в отдельных блоках, меньшим содержанием других вторичных минералов и сравнительно небольшим приконтактовым изменением. По-разному ведут себя вторичные минералы и на разведанную глубину коренных месторождений алмазов (рис. 3 и 4). В одних случаях (трубка Удачная) пока не установлены четкие закономерности смены ассоциаций как породообразующих компонентов, так и минералов-примесей. Однако установлена неравномерность серпентинизации оли-

вина, связанная с чередованием в разрезах блоков пород с различной трещиноватостью. Это привело к слабому замещению реликтовых минералов в одних блоках и более интенсивной их серпентинизации – в других. Процессы наложенной карбонатизации привели к образованию блоков плотных кимберлитов (рис. 2–4). В других случаях установлены довольно четкие закономерности в распределении как породообразующих новообразований основной массы пород, так и прожилковой гидротермальной минерализации. Это позволяет использовать отмеченные закономерности в распределении минералов-новообразований для типизации кимберлитовых пород. В большинстве случаев в СП и других алмазоносных районах слагающие трубки породы сильно изменены и в них в первичном виде сохранилось незначительное количество некоторых породообразующих и аксессуарных минералов, а структуры и текстуры носят реликтовый характер.

Таким образом, проведенными исследованиями разработан комплекс методов для идентификации, количественного подсчета и картирования постмагматических и гипергенных минералов кимберлитовых пород. Полученные новые данные по типоморфизму вторичных минералов и их ассоциаций в кимберлитовых породах показали, что процессы вторичного минералообразования проходили в большом интервале температур и вызванном их спадом изменении реакции среды от щелочной до кислой с последующей нейтрализацией, что зафиксировалось как в особенностях их распространения, так и в формах растворения, дорастания и возникновения новых генераций вторичных минералов. Большинство вторичных минералов в кимберлитах возникло в процессе гидролиза силикатов и других солей магния. В зависимости от конкретных условий минералообразования, на каждом конкретном участке диатрем по исходным магниевым силикатам возникли вторичные минералы, образование которых происходило либо без выноса вещества из материнской породы, либо с выносом (частично или



полностью) магнезия или кремнекислоты. Обилие воды в системе способствовало образованию серпентина, брусита и других богатых водой минералов. Определенную роль во вторичном минералообразовании в кимберлитах СП сыграл сероводород, которым обогащены нижнепалеозойские толщи, вмещающие диатремы. Сероводород связывал железо в сульфиды и тем самым заблокировавший образование не свойственных кимберлитам карбонатов железа. Сероводород в ряде случаев послужил источником возникновения серной кислоты, которая, воздействуя на карбонаты, способствовала образованию гипса и других новообразований. Среды минералообразования были сравнительно бедны  $\text{CO}_2$ , в связи с чем возникли основные водные карбонаты (пироаурит и гидромагнезит). Углекислота расходовалась также на образование карбонатов кальция и кальций-магниевого новообразований. Излишек в системе минералообразования магнезия определил в определенной степени образование более богатых им слоистых силикатов (серпентина вместо талька) и гидроксидов (брусита). Исследованиями установлены отличия в минеральном составе новообразований не только в разных трубках, но также в плане отдельных тел или блоков одной и той же диатремы. По-разному ведут себя вторичные минералы и на глубину трубок. Существенно меняется состав кимберлитовых пород в процессе их гипергенного изменения. Так, в КВ кимберлитовых трубок Нюрбинская и Ботуобинская присутствуют минералы различного происхождения: а) минералы, относящиеся только к ксенолитам фундамента или траппов (полевые шпаты); б) минералы гидротермального происхождения (серпентины, хлориты и тальк); в) экзогенные минералы (смектиты, каолинит, большинство мелкозернистого кварца и халцедон, гидроксиды железа и сидерит).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бобривич А. П., Илупин И. П., Козлов И. Т. и др. Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. – М.: Недра, 1964. – 190 с.
2. Богатиков О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А. и др. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). – М.: МГУ, 1999. – 524 с.
3. Братусь Б. Д., Зинчук Н. Н., Кроузе 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.
4. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. – Новосибирск: Наука, 1997. – 574 с.
5. Звягин Б. Б., Врублевская З. В., Жухлистов А. П. и др. Высоковольтная электронография в исследовании слоистых минералов. – М.: Наука, 1979. – 224 с.
6. Зинчук Н. Н. О минеральном составе келифитовых кайм на гранатах из кимберлитов//ЗВМО. – 1981. – Ч. 110. – Вып. 1. – С. 70–76.
7. Зинчук Н. Н. Распределение вторичных минералов в кимберлитовых породах Якутии//Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1990. – № 5. – С. 70–83.
8. Зинчук Н. Н. Особенности состава и распределения слоистых образований в кимберлитовых породах Якутии//Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 1991. – № 7. – С. 58–66.
9. Зинчук Н. Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков и разработки алмазных месторождений). – Новосибирск: НГУ, 1994. – 240 с.
10. Зинчук Н. Н. Влияние вторичных минералов на облик и состав кимберлитовых породах//Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – № 12. – С. 1704–1715.
11. Зинчук Н. Н. Постмагматические минералы кимберлитов. – М.: Недра, 2000. – 538 с.
12. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: Недра, 2003. – 603 с.
13. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Борис Е. И. Древние коры выветривания и поиски алмазных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 196 с.
14. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Соколов В. Н. Преобразование минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания//Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
15. Зинчук Н. Н., Лисковая Л. В. Вторичные минералы основной массы кимберлитов Якутии//Геология алмазов – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мир-

ный и алмазодобывающей промышленности России). – Воронеж: ВГУ, 2005. – С. 824–847.

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

17. *Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Коптиль В. И.* и др. 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 университета. Геология. – 2004. – № 2. – С. 99–110.

18. *Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В.* Кимберлиты в истории Земли//Труды НИИ геологии ВГУ. Учебное пособие. – Воронеж: ВГУ, 2013. – Вып. 68. – 100 с.

19. *Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т.* Тектоника и алмазоносный магматизм. – Воронеж: ВГУ, 2004. – 426 с.

20. *Зинчук Н. Н., Стегницкий Ю. Б., Мельник Ю. М.* Особенности профиля коры выветривания кимберлитовых пород Накынского поля//Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. – Воронеж: ВГУ, 2003. – С. 74–80.

21. *Зинчук Н. Н., Харьков А. Д., Мельник Ю. М., Мовчан Н. П.* Вторичные минералы кимберлитов. – Киев: Наукова думка, 1987. – 282 с.

22. *Мельник Ю. М., Зинчук Н. Н., Харьков А. Д.* Основные ассоциации вторичных минералов в кимберлитах Якутии//Мин. сб. Львовского ун-та. – 1982. – № 36. – Вып. 2. – С. 76–83.

23. *Ровша В. С., Футенгендлер С. И.* Пироаурит из кимберлитов Якутии//Зап. ВМО. – 1963. – Ч. 92. – Вып. 3. – С. 354–359.

24. *Розен О. М., Манаков А. В., Зинчук Н. Н.* Сибирский кратон: формирование, алмазоносность. – М.: Научный мир, 2006. – 212 с.

25. *Ротман А. Я., Зинчук Н. Н., Ащепков И. В., Егоров К. Н.* Кимберлиты и перспективы их исследований//Геология алмазов – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). – Воронеж: ВГУ, 2005. – С. 856–892.

26. Руководство по рентгеновскому исследованию минералов/Под ред. В. А. Франк-Камеянецкого. – Л.: Недра, 1975. – 399 с.

27. *Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И.* Геолого-генетические основы шли-

хо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. – М.: Недра, 1995. – 348 с.

28. *Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д.* Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава//ДАН СССР. – 1987. – Т. 296. – № 5. – С. 1228–1233.

29. Lesotho kimberlites/Nixon P. H. (Ed.) – Cape Town: Lesotho national development corporation, 1973. – 350 p.

## REFERENCES

1. *Bobrievich A. P., Ilupin I. P., Kozlov I. T.* et al. Petrography and mineralogy of kimberlite rocks of Yakutia. – Moskva: Nedra, 1964. – 190 p. (In Russian).

2. *Bogatikov O. A., Garanin V. K., Kononova V. A.* et al. Arkhangelsk diamondiferous province (geology, petrography, geochemistry and mineralogy). – Moskva: MSU, 1999. – 524 p. (In Russian).

3. *Bratus B. D., Zinchuk N. N., Krouze G. R., Vityk M. O.* Conditions of crystallization and isotopic nature of sulfur, carbon and oxygen of sulfide-calcic association in pipe “Udachnaya” (Yakutia)//Geochemistry. – 1998. – № 3. – P. 264–270. (In Russian).

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

5. *Zvjagin B. B., Vrublevskaia Z. V., Zhuhlistov A. P.* et al. High-voltage electronography in investigation of laminated minerals. – Moskva: Science, 1979. – 224 p. (In Russian).

6. *Zinchuk N. N.* About mineral composition of kelyphitic rims on garnets from kimberlites//ZBMO. – 1981. – P. 110. – Iss. 1. – P. 70–76. (In Russian).

7. *Zinchuk N. N.* Distribution of secondary minerals in kimberlite rocks of Yakutia//Proceedings of the USSR AS. Geol. series. – 1990. – № 5. – P. 70–83. (In Russian).

8. *Zinchuk N. N.* Specific features of composition and distribution of micaceous formations in kimberlite rocks of Yakutia//Proceedings of HEE. Geology and exploration. – 1991. – № 7. – P. 58–66. (In Russian).

9. *Zinchuk N. N.* Crusts of weathering and secondary alterations of kimberlites of the Siberian platform (in connection with the problem of exploration and mining of diamond deposits). – Novosibirsk: NSU, 1994. – 240 p. (In Russian).

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

11. *Zinchuk N. N.* Postmagmatic minerals of kimberlite. – Moskva: Nedra, 2000. – 538 p. (In Russian).
12. *Zinchuk N. N., Koptil V. I.* Typomorphism of diamonds of the Siberian platform. – Moskva: Nedra, 2003. – 603 p. (In Russian).
13. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Boris E. I.* Ancient crusts of weathering and prospecting of diamond deposits. – Moskva: Nedra, 1983. – 196 p. (In Russian).
14. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Sokolov V. N.* Transformation of mineral composition and structural features of kimberlites of Yakutia in the process of weathering//Geology and geophysics. – 1982. – № 2. – P. 42–53. (In Russian).
15. *Zinchuk N. N., Liskovaja L. V.* Secondary minerals of the basic mass of kimberlites of Yakutia//Geology of diamonds – present and future (geologists to the 50<sup>th</sup> anniversary of Mirny and diamond-mining industry of Russia). – Voronezh: VSU, 2005. – P. 824–847. (In Russian).
16. *Zinchuk N. N., Melnik Ju. M., Serenko V. P.* Apokimberlite rocks//Geology and geophysics. – 1987. – № 10. P. 66–72. (In Russian).
17. *Zinchuk N. N., Savko A. D., Koptil V. I.* et al. Comparative characteristic of typomorphic features of diamonds from terrigenous deposits of Voronezh anticline (Lipetsk area) and Ukrainian shield (Middle Transdnistria) in connection with the problem of forecasting and prospecting of their primary sources//Proceedings of Voronezh university. Geology. – 2004. – № 2. – P. 99–110. (In Russian).
18. *Zinchuk N. N., Savko A. D., Krajnov A. V.* Kimberlites in the Earth history//Proceedings of geology SRI of VSU. Tutorials. – Voronezh: VSU, 2013. – Iss. 68. – 100 p. (In Russian).
19. *Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevryev L. T.* Tectonics and diamondiferous magmatism. – Voronezh: VSU, 2004. – 426 p. (In Russian).
20. *Zinchuk N. N., Stegnickij Y. B., Melnik Ju. M.* Specific features of the weathering crust profile of the Nakyn field kimberlite rocks//Problems of forecasting, prospecting and investigation of mineral deposits on the threshold of the XXI-st century. – Voronezh: VSU, 2003. – P. 74–80. (In Russian).
21. *Zinchuk N. N., Harkiv A. D., Melnik Ju. M., Movchan N. P.* Secondary minerals of kimberlites. – Kiev: Naukova dumka, 1987. – 282 p. (In Russian).
22. *Melnik Ju. M., Zinchuk N. N., Harkiv A. D.* Basic associations of secondary minerals in kimberlites of Yakutia//Min. coll. of Lviv Univ. – 1982. – № 36. – Iss. 2. – P. 76–83. (In Russian).
23. *Rovsha V. S., Futengendler S. I.* Pyroaurite from kimberlites of Yakutia//Not. WMO. 1963. – P. 92. – Iss. 3. – P. 354–359. (In Russian).
24. *Rozen O. M., Manakov A. V., Zinchuk N. N.* Siberian craton: formation, diamondiferousness. – Moskva: Scientific world, 2006. – 212 p. (In Russian).
25. *Rotman A. Ja., Zinchuk N. N., Ashhepkov I. V., Egorov K. N.* Kimberlites and perspectives of their investigations//Geology of diamonds – present and future (geologists to the 50<sup>th</sup> anniversary of Mirny and diamond-mining industry of Russia). – Voronezh: VSU, 2005. – P. 856–892. (In Russian).
26. Guide on X-ray investigation of minerals/ Edited by V. A. Frank-Kamenetsky. – Leningrad: Nedra, 1975. – 399 p. (In Russian).
27. *Harkiv A. D., Zinchuk N. N., Krjukov A. I.* Geologic-genetic fundamentals of heavy concentrate-mineralogical method of diamond deposits prospecting. – Moskva: Nedra, 1995. – 348 p. (In Russian).
28. *Hitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D.* Application of cluster-analysis for clearing out regularities of various composition rocks' weathering//DAN USSR. – 1987. – V. 296. – № 5. – P. 1228–1233. (In Russian).
29. Lesotho kimberlites/Nixon P. H. (Ed.). – Cape Town: Lesotho national development corporation, 1973. – 350 p.

Рукопис отримано 16.06.2015.

**М. М. Зінчук**, Академія наук Республіки Саха (Якутія), Західноякутський науковий центр АН РС(Я), Росія, м. Мирний, nnzinchuk@rambler.ru

## МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ ПОСТМАГМАТИЧНИХ І ГІПЕРГЕННИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ КІМБЕРЛІТОВИХ ПОРІД

За результатами комплексного вивчення постмагматичних і гіпергенних перетворень у складі кімберлітів показано, що процеси вторинного мінералоутворення порід діаметром проходили у великому інтервалі температур і спричиненій їй спадом зміни реакції середовища від лужної до кислої з наступною нейтралізацією, що зафіксувалося у формі

розчинення, доростання й виникнення нових генерацій вторинних мінералів. Залежно від конкретних умов мінералоутворення, на кожній конкретній ділянці діатрем, по первинних магнезіальних силікатах виникли вторинні мінерали, утворення яких відбувалося або без виносу речовини з материнської породи, або з виносом (частково або повністю) магнезії або кремневої кислоти. Розроблено комплекс методів для ідентифікації, кількісного підрахунку й картування постмагматичних і гіпергенних мінералів кімберлітових порід. Поряд з пневматоліто-гідротермальними процесами, які відбувалися в умовах, близьких до ізохімічних, у кімберлітових діатремах дуже поширений метасоматоз (автометасоматоз). Запропоновано, що під новоутвореннями кімберлітів варто розуміти всі мінерали, які сформувалися з термальних розчинів, якими вважаються не тільки постмагматичні ювенільні, але й ті, що утворилися як у період формування трубок, так і на пізніших етапах їх становлення (зокрема й у гіпергенних умовах). Наведено типоморфні особливості ідентифікованих у кімберлітах мінералів класів: силікати, карбонати, оксиди та гідрооксиди, сульфідні, сульфатні, галогенідні, фосфатні й борати. Визначено відмінності в мінеральному складі новоутворень не тільки в різних трубках, але й у плані окремих тіл або блоків однієї й тієї самої діатреми. На прикладі конкретних діатрем Сибірської платформи побудовано карти й розрізи розподілу основних породоутворювальних мінералів як у плані окремих горизонтів алмазних родовищ, які розробляються, так і на їх розвідану глибину. Показано можливості використання вторинних мінералів кімберлітів як для підвищення ефективності прогностно-пошукових робіт, так і технологічних процесів під час добування алмазів з порід.

**Ключові слова:** постмагматичні й гіпергенні процеси, типоморфізм вторинних мінералів, кімберліти, метасоматоз.

**N. N. Zinchuk, Academy of Sciences of Republic Sakha (Yakutia), Mirny, nnzinchuk@rambler.ru**  
**METHODICAL FEATURES OF STUDYING POSTMAGMATIC AND HYPERGENE ALTERATIONS OF KIMBERLITE ROCKS**

According to the results of complex investigation of postmagmatic and hypergene alterations of kimberlites composition it was shown that processes of secondary mineral formation of diatreme rocks took place in a big interval of temperatures and caused by their drop change of medium reaction from alkaline to acidic with subsequent neutralization, which was fixed in the form of dissolution, additional growth and occurrence of new generations of secondary minerals. Depending on specific conditions of mineral formation, secondary minerals emerged on each specific site of diatremes by initial magnesia silicates, occurrence of which took place either without carry-over of material from parent rock, or with carry-over (partially or completely) of magnesium or oxide of silicon. A complex of methods was worked out for identification, quantitative estimation and mapping of postmagmatic and hypergene minerals of kimberlite rocks. Together with pneumatolytic-hydrothermal processes, which occurred in situation close to isochemical, metasomatism (auto-metasomatism) has been widespread in kimberlite diatremes. It was proposed that all minerals that formed from thermal solutions should be perceived as kimberlite new formations, which are supposed to be not only postmagmatic juvenile, but also those formed both in the period of pipes origination, and at much later stages of their formation (including hypergene conditions). Typomorphic features of identified in kimberlites minerals of classes are provided: silicates, carbonates, oxides and hydroxides, sulfides, sulfates, halogenides, phosphates and borates. Distinctions were established in mineral composition of new formations not only in various pipes, but in plan of individual bodies or blocks of one and the same diatreme as well. Maps and sections of distribution of basic rock-forming minerals were created on the example of the Siberian platform specific diatremes both in the plan of individual levels of diamond deposits under development, and to their explored depth. Usability of kimberlite secondary minerals is shown both for increasing efficiency of forecast-prospecting works, and technological processes during extraction of diamonds from rocks.

**Keywords:** postmagmatic and hypergene processes, typomorphism of secondary minerals, kimberlites, metasomatism.