

Об особенностях исследований постмагматических и гипергенных изменений кимберлитовых пород

Охарактеризованы методы изучения постмагматического и гипергенного изменения кимберлитовых пород, а также идентификации вторичных минералов и их ассоциаций. Показано, что процессы вторичного минералообразования проходили в большом интервале температур и при вызванном их спадом изменении реакции среды: от щелочной к кислой с последующей нейтрализацией. Это зафиксировалось в форме растворения, дорастания и возникновения новых генераций вторичных минералов.

Ключевые слова: кимберлиты, постмагматические и гипергенные процессы, вторичные минералы, алмазодносные провинции.

ЗИНЧУК НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, председатель ЗЯНЦ АН РС (Я), nnzinchuk@rambler.ru

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Мирный

Specific features of postmagmatic and hypergene kimberlite rock alteration research

N. N. ZINCHUK

West Yakutia Scientific Center, Republic of Sakha (Yakutia) Academy of Sciences

Methods of studying postmagmatic and hypergene kimberlite rock alteration, as well as identifying secondary minerals and their associations are characterized. It is shown that secondary mineral formation processes took place in a wide temperature range and they are caused by their downward change of medium reaction from alkaline to acidic followed by neutralization, which resulted in dissolution, additional growth and emergence of new secondary mineral generations.

Key words: kimberlites, postmagmatic and hypergene processes, secondary minerals, diamondiferous provinces.

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 [5, 29]. Основное внимание обычно придаётся изучению псевдоморфоз, их форм и расположению в породе. В то же время незаслуженно малая роль отводится исследованию цементирующей массы этих уникальных природных магматитов. В кимберлитовых породах, где сохранилось реликтовое строение, цементирующая масса в основном представлена субмикроскопическим серпентином, пелитоморфным карбонатом и стекловатым веществом [1–7, 19–25, 30–33]. Многие исследователи считают, что серпентин цемента представляет собой апостекло. Однако в свежем виде в кимберлитах оно никем и никогда не описывалось. Стекло не обнаружено также в обломочном материале этих пород. К постмагматическим преобразо-

ваниям кимберлитов обычно относятся изменения, которые претерпели магматические породы в пневматолиито-гидротермальную стадию метаморфизма [8–14, 26–29]. Верхней температурной границей обычно указывается 600 °С, то есть 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 автотаморфическими процессами, которые протекают в обстановке, близкой к изохимической, в кимберлитовых телах широко распространён метасоматоз (автометасоматоз). Под новообразованиями кимберлитов мы [9–18, 29–31] понимаем все минералы, сформировавшиеся из термальных растворов, под которыми подразумеваются не только постмагматические ювенильные, но и растворы, образовавшиеся как в период формирования трубки, так и на более поздних этапах её становления, в том числе и в гипергенных

условиях. Химические анализы кимберлитов, кроме выяснения петрохимических особенностей пород, использовались для пересчётов на минеральный состав по методике, разработанной нами [15–18] для минералого-петрохимического картирования кимберлитовых диатрем. 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 пересчётах химических анализов кимберлитов учитывались не только вторичные минералы, но и некоторые реликтовые. В первую очередь при таких пересчётах определяются компоненты кальциевых минералов, поскольку для них характерны различные радикалы и обычно нетипичны широкие изоморфные замещения. Из кальциевых минералов в кимберлитовых породах установлены кальцит, доломит, гипс, перовскит и апатит. Поскольку последний является обычным образованием кимберлитов (редко встречающийся в этих породах франколит предварительно уверенно диагностируется рентгеновскими исследованиями), то при перерасчётах всё количество P_2O_5 соединяется с эквивалентной для этого минерала частью CaO , которая вычисляется из общего содержания компонента. Так же 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 нехарактерны, то количество сульфата кальция, полученное путём пересчёта, является довольно точным даже при незначительном содержании этого компонента в породе. Оставшаяся часть CaO вместе с CO_2 идёт на карбонат кальция, который здесь представлен двумя модификациями – кальцитом и арагонитом, причём 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. Определённое количество MgO после вычета, расходуемого на доломит, идёт на флогопит, расчёт которого проводится по концентрации в кимберлите K_2O . Поскольку других калийсодержащих минералов в кимберлитовых породах нами не установлено, то на «образование» слюды идёт 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 рассчитать и хлорит. При расчёте 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, идёт вместе с Fe_2O_3 на магнетит. Следует отметить, что обычно FeO не хватает для «образования» ильменита и магнетита, поэтому оставшиеся Fe_2O_3 и H_2O учитываются при расчёте аутигенных гидроксидов железа (гётит, гидрогётит, маггемит и др.). Полученные таким образом (при пересчёте 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 40×40 м (рисунки 1 и 2), а также на геолого-петрографические разрезы, построенные по результатам комплексного изучения керна разведочных скважин (рисунки 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 работах [12–18], 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 спектра современных методов и подходов [26–29]. Для обработки как химических анализов в различной степени изменённых кимберлитов, так и развитых в алмазоносных регионах древних кор выветривания (КВ) на породах различного состава был использован развиваемый нами [30] многомерный непараметрический кластер-анализ. 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 «лейко-мелано» индекс (LM) определяется алгебраической суммой рангов содержания (в процентах, $n = 10$) породообразующих оксидов в образце ($R_i = 1, 2, \dots, i, \dots, 10$; $M = S_+ + S_-$), взятых со знаком «+» для светлоокрашенных компонентов,

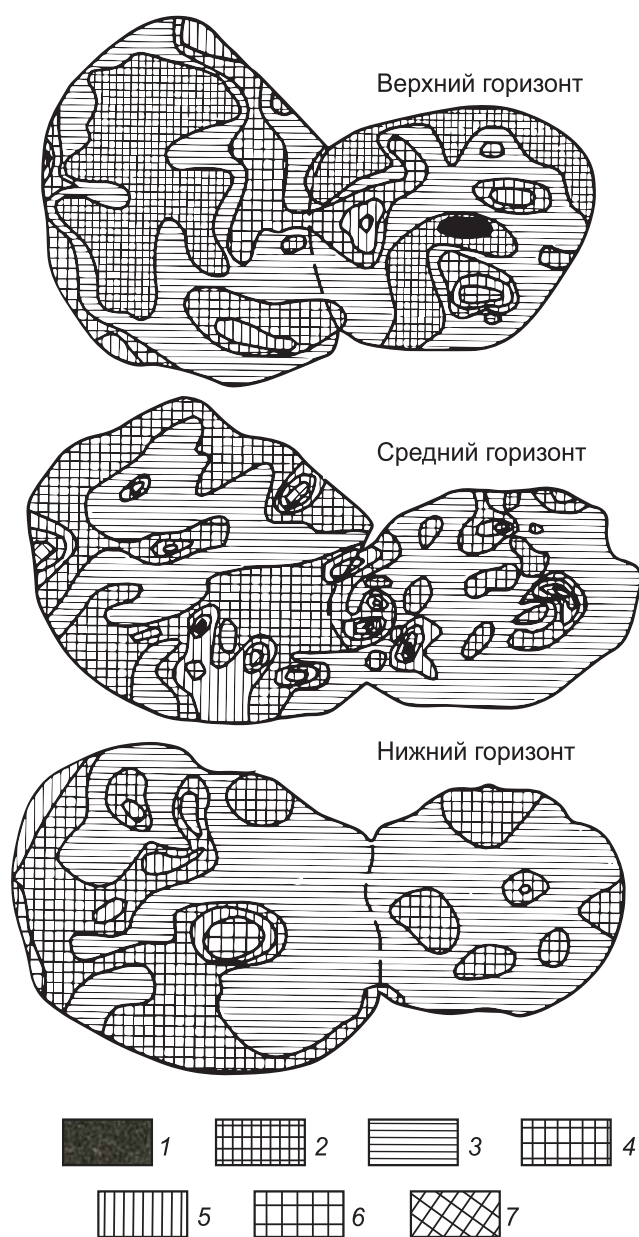


Рис. 1. Распределение серпентина в кимберлитовых породах трубки Удачная:

в % от общего содержания установленных минералов: 1 – > 70, 2 – 60–70, 3 – 50–60, 4 – 40–50, 5 – 30–40, 6 – 20–30, 7 – < 20

содержание которых возрастает в глобальном процессе эволюции горных пород от ультраосновных к кислым (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O и H_2O^+), и со знаком «←» для темноокрашенных компонентов, содержание которых соответственно уменьшается в указанном ряду пород (MgO , FeO , Fe_2O_3 , CaO и TiO_2). Второй индекс – окисленности, выветривания (ОК) –

по этому методу определяется алгебраической суммой рангов содержания (в процентах) шести избранных породообразующих оксидов в той же породе, причём используются численные значения рангов R_i , полученные при первом, общем ранжировании: $\text{OK} = S''_+ + S''_- \dots$. Здесь S''_+ – сумма рангов по оксидам, преимущественно накапливающимся в изменённых (в том числе и выветривающихся) продуктах (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , H_2O^+), а S''_- – сумма рангов по оксидам, выносимым из исходных пород при постмагматических и гипергенных изменениях пород (FeO , MgO , Na_2O).

Вторичные минералы кимберлитов составляют обычно более 90% объёма пород и представлены свыше 60 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. К второстепенным отнесены все остальные минералы, образовавшиеся на разных стадиях становления кимберлитовых трубок. Различные минералы проявляют свойственные только им особенности концентрации и распределения в породах, приводя к различному облику и составу кимберлитов. Проведёнными исследованиями установлено [14–18] 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 (см. рисунки 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 (см. 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. Отчётливо 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 (см. рис. 1). Заметное уменьшение концентрации минерала в восточном теле самого верхнего сравниваемого горизонта по отношению к более глубоким его частям характеризуется одновременно и сменой специфики его распространения по площади. Верхний горизонт пород западного тела характеризуется более высокой степенью серпентинизации и чётко выраженной концентрической зональностью распределения минерала с максимумом в центре трубки с постепенным снижением к периферии. Распределение серпентина на глубину трубки (см. рисунки 3 и 4) подчёркивает 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). Следовательно, содержание серпентина в кимберлите представляет собой сумму количеств различных по происхождению составляющих компонентов данного довольно сложного образования, отвечающего формуле: $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$.

Морфология агрегатов серпентина определяет структуру мономинеральной породы, то есть серпентинитов, представляющих в отдельных трубках (Ботубинская, Нюрбинская и др.) продукты преобразования ультраосновных нодулей, а в большинстве случаев – только определённый участок породы, поскольку значительная её часть сложена другими минералами, имеющими свою форму индивидов и аг-

регатов. 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. Нередко 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.

При комплексном исследовании кимберлитовых пород Африканской платформы в отдельных диатремах нами [7, 14–16] установлены различные соотношения ассоциации лизардита с сапонитом. При рентген-дифрактометрических исследованиях изменённых кимберлитов из верхних частей трубки Катока (Ангола) отмечено присутствие в области 060 менее интенсивного, чем в лизардите, отражения со значением 0,1526 нм ($b = 0,916$ нм). Это указывает на содержание в структуре смешанослойной фазы сапонитовых слоёв. Исходя из высот сапонитового (~ 1,5 нм) и лизардитового (0,730 нм) слоёв в верхней части диатремы, наряду с присутствием собственно лизардита, слои его входят в структуру впервые идентифицированного нами [7, 14] упорядоченного лизардит-сапонитового смешанослойного образования с общей высотой его кристаллической решётки примерно в 2,2 нм. Мелкие чешуйчатые выделения этого упорядоченного смешанослойного образования, кроме Si и Mg, содержат небольшое количество Fe, Al и Ca. На микродифракционной картине, полученной с помощью сканирующего микроскопа JSM-5300 (Япония), оснащённого энергодисперсионным спектрометром Kevex-5100 (США), выделено в основном два типа частиц. Сравнительно широкие пластинки относятся к лизардиту, скопления мелких частиц – к смешанослойной фазе. На микродифракционной картине от загнутых краёв частиц этой смешанослойной фазы с учётом обезвоженного состояния разбухающих минералов в вакууме электронного микроскопа фиксируются базальные отражения с $d = 0,838$

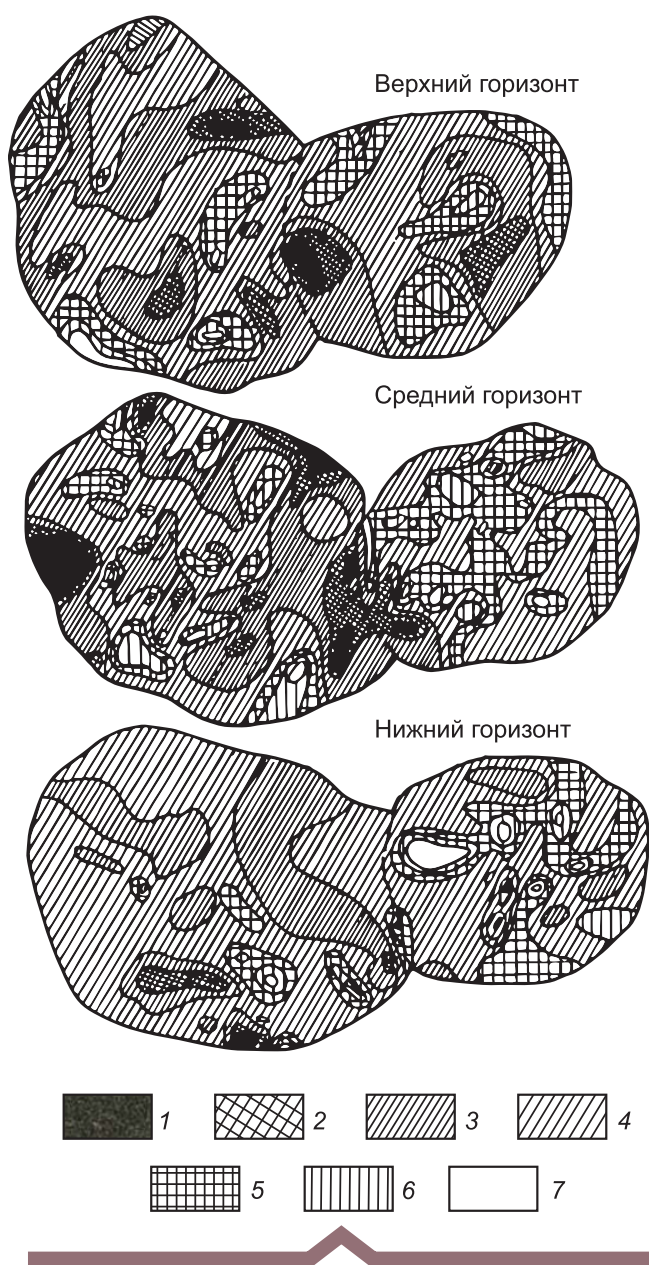


Рис. 2. Распределение кальцита в кимберлитовых породах трубки Удачная:

в % от общего содержания установленных минералов: 1 – > 30, 2 – 25–30, 3 – 20–25, 4 – 15–20, 5 – 10–15, 6 – 5–10, 7 – < 5

и 0,336 нм. От загнутого края отдельных частиц была получена последовательность рефлексов 00l с семью порядками. Анализ этой картины показал [7, 14], что второе ($d = 0,838$ нм) и пятое ($d = 0,336$ нм) отражения выделяются своей интенсивностью. Эти отражения, полученные на дифрактограммах и микродифракционных картинах таких образцов, чётко соответствуют индексам этого впервые идентифицированного смешанослойного образования.

Следующим по распространённости компонентом кимберлитовых пород являются карбонаты, среди которых доминирует кальцит, характеризующийся широким многообразием форм выделений. Основная его масса, как известно, вместе с минералами группы серпентина слагает (см. рисунки 2–4) основную объём 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 трёх упомянутых опорных горизонтов диатремы Удачная. Так, в восточном теле диатремы вверх по разрезу содержание кальцита постепенно возрастает, а доломита убывает. При этом нижний горизонт (190 м) характеризуется существенным разбросом значений, которые могут быть следствием как неравномерной карбонатизации кимберлитов, так и различного распределения в трубке ксеногенного материала вмещающих диатрему пород. В западном теле содержание карбонатов также характеризуется существенным разбросом значений. В распределении кальцита наблюдается (см. 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 (см. рис. 2) северо-западной ориентировкой элементов поверхностей тренда. Увеличение содержания кальцита фиксируется в приконтактовых зонах на северо-востоке и юго-западе трубки, причём 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 распределён 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 более значительно меняются особенности распределения минерала на самом верхнем горизонте (295 м) и характеризуются (см. 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 ведёт себя минерал и на глубину описываемого месторождения (см. рисунки 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 щётки. В качестве позднего аксессуарного минерала кальцит установлен нами [10–14] и в некоторых типах глубинных пород, в частности, в ильменит-титан-клиногумитовых дунитах (парагенетическая ассоциация Ti-клиногумит + К-рихтерит + кальцит + апатит + пирротин), в рутил-цирконовых сростках (циркон + флогопит + кальцит), в рутиловых эклогитах (амфибол + флогопит + кальцит + апатит ± кварц), в ильменит-амфиболовых вебстеритах (амфибол + циркон + апатит + кальцит) и в некоторых глиммеритах (флогопит + кальцит ± амфибол). Кальцит известен также в виде включений в цирконах, гранатах и оливинах, кроме того, микровключения кальцита зафиксированы в некоторых алмазах Заира, Ботсваны [13–15]. 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 можно подразделить на «кимберлитовый» кальцит, слагающий основную массу пород, «метасоматический» кальцит (продукт карбонатизации некоторых минералов и пород) и поздний гидротермальный кальцит, 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, несёт ли кальцит того или иного этапа или стадии кимберлитобразования 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 ещё остаются вопросы об устойчивости и равновесности минерального состава кальцитсодержащих ассоциаций. Один из таких вопросов – являются ли они закономерными продук-

тами кристаллизации той или иной стадии кимберлитобразования или представляют собой случайные неравновесные (наложенные) ассоциации нескольких постмагматических стадий этого процесса? Не менее принципиальными на сегодняшний день 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 кимберлитобразования. Необходимо отметить, что к настоящему времени в пустотно-жилковых образованиях из кимберлитов установлено большое количество кальцитсодержащих ассоциаций, в том числе: кальцит + пирит ± (сепиолит); кальцит + пирротин ± (сепиолит); кальцит + пирит + пирротин ± (сепиолит); кальцит + (сепиолит) + (талък); 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, талък 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-зелёного 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 нём 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 + 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 (так же как и по форме выделений) перечисленные выше ассоциации существенно отличаются от таковых в кимберлитах. Встречаются ассоциации, в объёме которых преобладает кальцит, но чаще всего – минералы группы кварца, нарастающие на «ониксоподобные» сферы коричневого кальцита ранней генерации. Отметим важность изучения в кальците спектра редкоземельных (TR) элементов, что может способствовать определению природы этих компонентов в кимберлитах. Однако фазовая неоднородность кальцита и наличие в нём микровключений других минеральных фаз не позволяют корректно провести такого рода исследования с помощью классических видов спектрального и других анализов вещества. Более объективное изучение микросостава и закономерностей распределения TR-элементов в кальцитах из кимберлитов можно выполнить с помощью известных люминесцентных методов исследования минералов, отличающихся высокой чувствительностью к самым незначительным (0,000n %) концентрациям примесных элементов и оптически активных центров (ОАЦ) в минералах. ОАЦ не только несут информацию о структурно-химическом состоянии минерала, но и являются генетическими индикаторами эволюции минерального вещества, прослеживаемой на атомно-электронном уровне строения кристаллов. По данным электронно-зондового анализа, наиболее характерными примесями в кальцитах из кимберлитов являются: марганец (MnO – 0–0,37%), магний (MgO – 0,04–0,34%), железо (FeO – 0–0,13%), кобальт (CoO – 0–0,46%), свинец (PbO – 0–0,22%) и медь (CuO – 0,09%). Почти во всех изученных выделениях кальцита обнаружена примесь Sr, Ba, Ti, Ni, V, Ce, La и Y.

В ряде кимберлитовых трубок (Интернациональная и др.) значительную долю состава пород составляет

доломит. По имеющимся минералогическим данным образование доломита охватывает достаточно широкий интервал во времени: 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 распространённым 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: 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 кальцитсодержащих ассоциаций, в кимберлитах наиболее поздними являются прожилки кальцита (часто мономинеральные).

Одним из весьма интересных вторичных минералов является *пироаурит*, который впервые был установлен [16–18] в кимберлитах трубки Удачная в виде прожилков и гнёзд волокнистого и кристаллического пироаурита, ассоциирующего с кальцитом, магнетитом и серпофитом. Во включениях ультраосновных

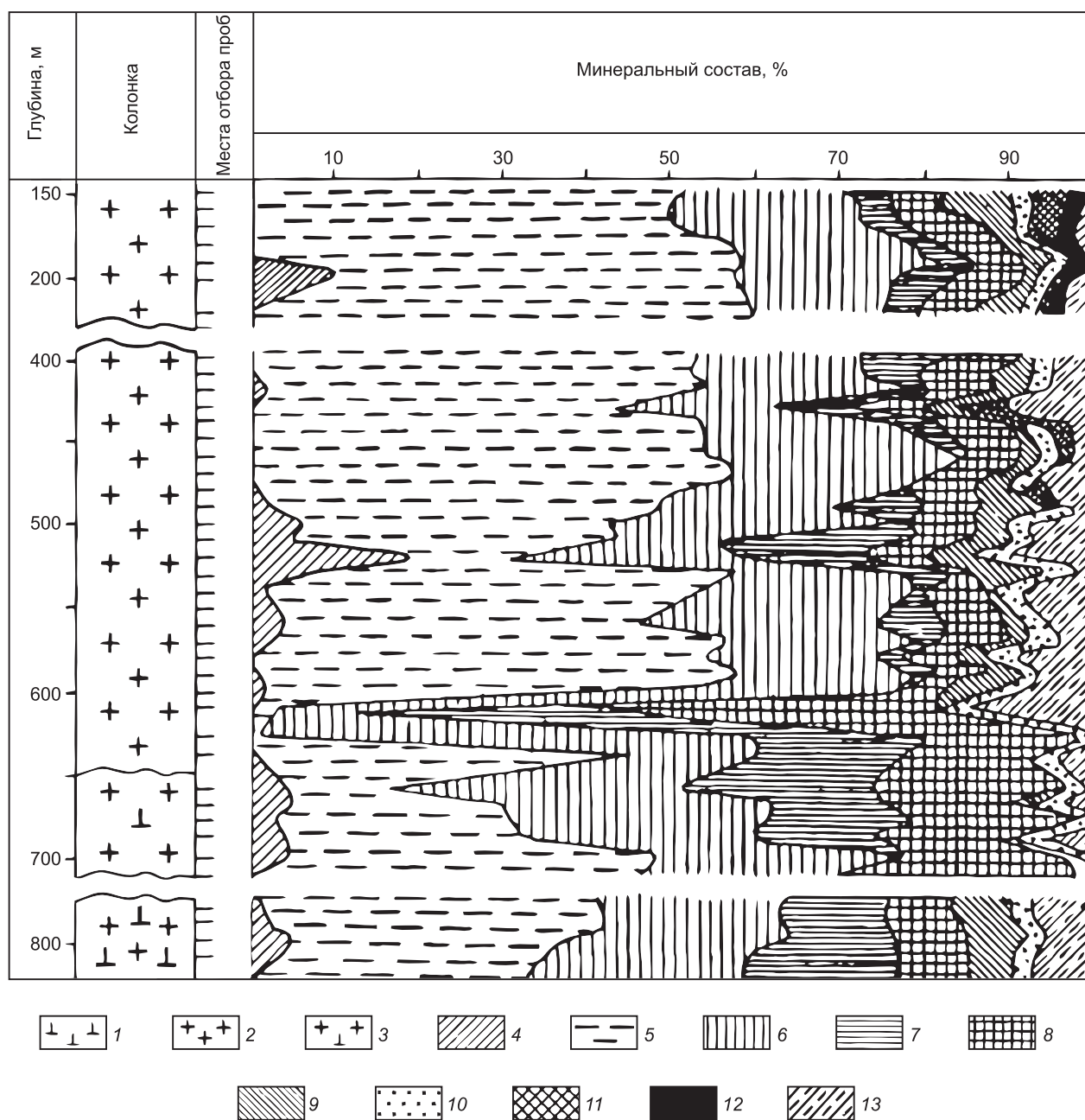


Рис. 3. Распределение минералов в основной массе кимберлитов трубки Удачная. По разведочной скважине 207:

1–3 – петрографическая колонка: 1 – порфировый 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

пород этой же трубки был позднее диагностирован пластинчатый пироаурит. Комплексное исследование вещественного состава разрабатываемых месторождений алмазов Сибирской платформы позволило нам получить новые данные об особенностях распре-

деления 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 ($a_0 = 0,3103$ нм, $c_0 = 2,340$ нм) хорошо согласуются с литературными данными. На кривых ДТА дериватограмм таких образцов пирроауриту соответствуют чёткие 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 пирроаурита 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 чёткой закономерности в распределении по типам кимберлитов всего изученного разреза трубки (до 1200 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, например, гипс установлен в верхней части трубки (до глубины примерно 625 м), на средних горизонтах (615–660 м) отмечается целестин, ассоциирующий, как правило, с огранённым 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 пирроаурит. Часто голубоватые и голубовато-зелёные 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 цементированы галитом. Длина уплощённых 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 предположить, что до того, как отложилась соль, произошли смещение блоков вдоль трещин 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-зелёного цвета, который в отдельных участках переходит в белую асбестовидную разность минерала. Волокна последнего обычно параллельны друг другу в плоскости стенки трещин, на которых спо-

радически встречаются конусовидные выделения гидроксидов 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 тёмно-зелёную густую окраску, а периферическая – более светлую (чаще всего серовато-зелёную). 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). Заметно повышенные концентрации этого минерала зафиксированы в породах трубки Сытыканская [12–16]. 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-зелёной окраской, изменяющейся в зависимости от степени изменённости и его парагенезисов (с кальцитом, серпентином и другими новообразованиями). В отдельных интервалах (300–500 м) кимберлит разбит многочисленными тонкими (волоковидными) 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 участках 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 придаёт породе в целом голубоватый оттенок и макроскопически отличает от других типов кимберлитов. В кимберлитовых породах трубок Удачная и Юбилейная пирроаурит также отмечен

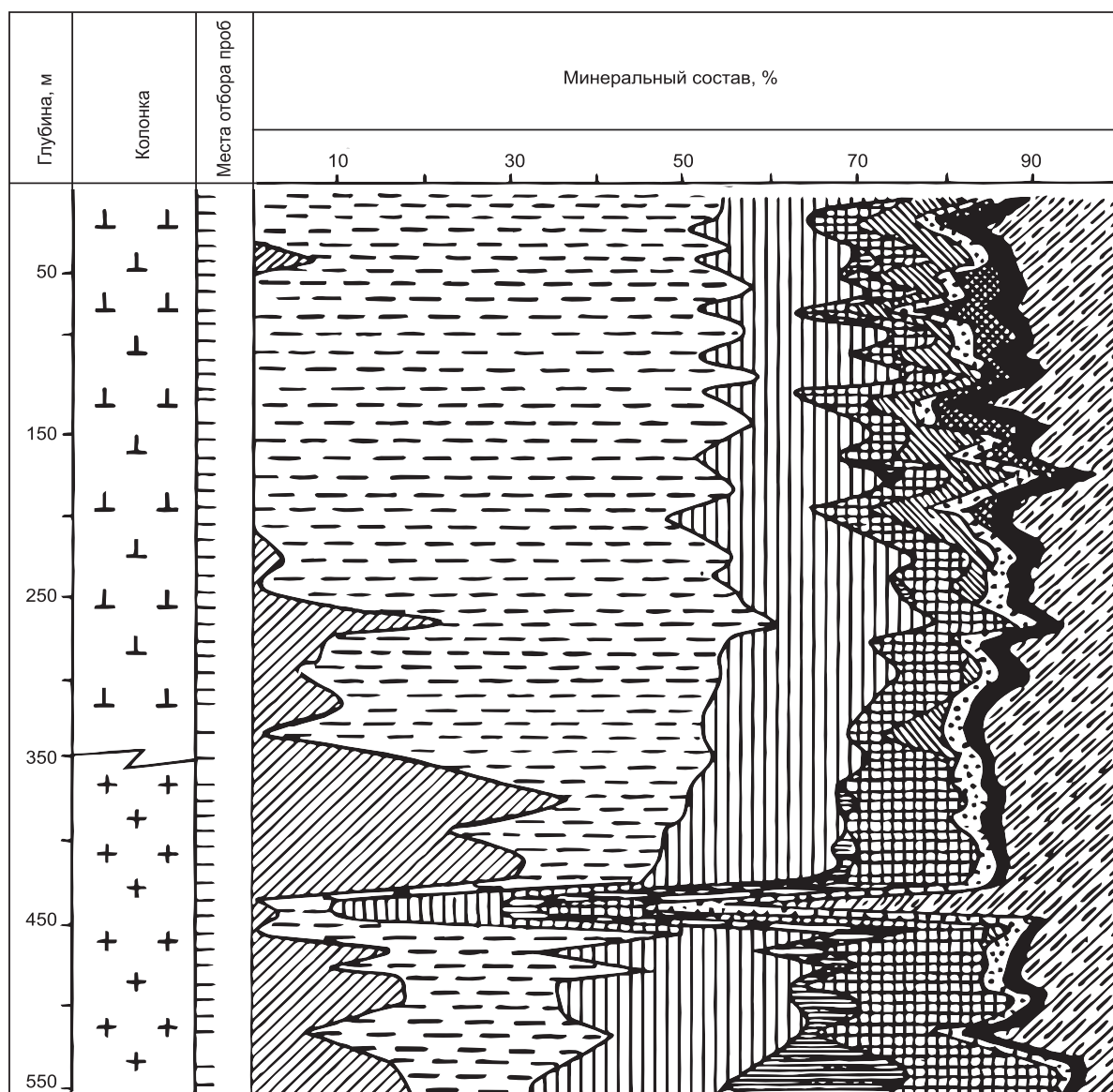


Рис. 4. Распределение преобладающих вторичных минералов в основной массе кимберлитов трубки Удачная. По разведочной скважине 225: см. услов. обозн. к рис. 3

в парагенетической ассоциации с кальцитом и серпентином. В этих телах минерал встречается в виде отдельных голубовато-зелёных ромбических кристаллов, а также сферических и волокнистых образований. Последние иногда образуют маломощные прожилки и мелкие жеоды. 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 изменённых кимберлитах, а в отдельных учас-

тках 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 широко распространён в кимберлитовых породах Сибирской платформы, причём наиболее характерна пироауритизация для глубоких горизонтов месторождений, где минерал нередко является породообразующим компонентом. Учитывая большую роль минерала в процессе технологической отработки месторождений, вопросам изучения пироауритизации кимберлитовых тел следует уделять пристальное внимание. Этого можно добиться при комплексном изучении вещественного состава (особенно при использовании современных физических методов исследований). Остальные карбонаты (шортит, стронцианит, гидромагнетит, хантит) встречаются в кимберлитовых породах Сибирской платформы в резко подчинённом количестве.

В кимберлитах Алакит-Мархинского (АМКП), Далдынского (ДКП), Верхне-Мунского (ВМКП) и других полей 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 рассматриваемого магнетита является разная степень развития по нему *маггемита* или $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ($d = 0,252, 0,2087$ 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 $a = 0,8340$, тогда как у магнетита оно составляет $0,8397$ нм [8–10, 20]. Указанные изменения дифракционной картины свидетельствуют о начале структурных преобразований исходного минерала. По данным изучения кимберлитов из ряда трубок основных алмазоносных районов Сибирской платформы в целом 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 с отсутствием признаков перехода в маггемит (трубки Невидимка, Молодёжная и др.), б) мелкокристаллические разновидности магнетита, встреченные либо в виде гнёзд и линзовидных скоплений, либо в виде зёрен, равномерно распределённых 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 надёжность процессов извлечения алмазов из кимберлитов. Повышенные концентрации кварца приурочены не только к самым верхним горизонтам трубки (осо-

бенно к сильно выветрелым частям западного тела), но и к приконтактовым зонам на более глубоких горизонтах. Кварц часто встречается вместе с кальцитом и другими вторичными минералами, образуя щётки, жилы и прожилки. Нередко кристаллы кварца на кварц-опал-халцедоновой подложке можно наблюдать непосредственно на изменённой в различной степени кимберлитовой породе. Размеры кварцевых 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 газозо-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 кремнезёма минералам, что наблюдается в верхней части кимберлитовой трубки Удачная. Обычно из халцедона начинают расти кристаллы кварца, головки которых создадут 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 плёнкой. Плёнки битумов имеются и на стыках отдельных шестоватых агрегатов или нередко густым слоем покрывают кварцы.

К широко распространённым минералам кимберлитовых пород относится *флогопит*, а при его содержании более 15–20 % объёма выделяется слюдястый или лампрофировый тип кимберлитов. В кимберлитах

установлено три генерации флогопита. Первая генерация представлена вкрапленниками, которые образовались, по-видимому, в протоматматический (подкоровый) 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 определённого 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 по взаимоотношениям с другими минералами ксенолитов, флогопит в ряде случаев является первичным минералом, возникшим в условиях равновесия с пиропом. Этот вывод не противоречит и результатам экспериментальных работ, согласно которым флогопит устойчив при высоких давлениях вплоть до 6,6 МПа. В условиях автотематоморфизма кимберлитов флогопит, как и в других типах ультраосновных пород, подвергается различным изменениям, в том числе вермикулитизации и хлоритизации. Особенно интенсивно флогопит изменён в кимберлитах Малоботуобинского (МБАР), Далдыно-Алакитского (ДААР) и Средне-Мархинского (СМАР) алмазных районов. Здесь в ряде трубок флогопит превращён либо в желтовато-бурый, серовато-зелёный или белёсый вермикулит, либо в буровато-зелёный 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 Сибирской платформы доля слюдястых образований обычно [12–17] не превышает 10 % (в африканских трубках их содержание нередко достигает 40 % объёма 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 кремне- или кислородного каркаса. Образование промежуточных форм (типа гидробиотита) нельзя приравнивать к вермикулитизации триоктаэдрических слюд, поскольку последняя проходит в гидротермальных условиях и, как правило, по всему объёму подвергшейся данному процессу породы с образованием устойчивой фазы (а значит и среды, в которой она находится). Флогопит в восстановительной обстановке преобразуется в хлорит от Fe²⁺-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 [10–14, 16–18] 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 гидромагнезит-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 счёт 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 определённую 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 [10, 17], что среда вторичного минералообразования была сравнительно бедна 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 известной мере образование более богатых слоистых силикатов (серпентина вместо талька), а также гидроксидов (брусита). Повышенные кальций-магневые отношения во многих случаях способствовали образованию вместе с доломитом карбоната кальция, обычно представленного арагонитом, возникновение которого в данном случае энергетически более выгодно, чем кальцита.

Таким образом, проведёнными комплексными исследованиями кимберлитовых диатрем древних платформ мира отмечено, что в их кратерных отложениях отмечается высокое содержание вмещающих диатремы пород. Для Сибирской платформы такими ксенолитами в вулканогенно-осадочных образованиях кратерной части являются терригенно-карбонатные и карбонатные образования нижнего палеозоя, для которых обычно не характерны обильные вторичные образования. Содержание ксенолитов вмещающих пород и карбонатов постепенно уменьшается вниз по разрезу в кимберлитовых туфах, в которых (как и в кимберлитовых брекчиях) встречаются скопления крупных друз и прожилков кварца (аметиста), кальцита, магнетита, пирита и других новообразований. С глубиной масштабы минерализации данного типа постепенно уменьшаются, и в эруптивной кимберлитовой брекчии более глубоких горизонтов сохраняются лишь маломощные жилы и прожилки гидротермальных минералов. Степень карбонатизации и серпентинизации кимберлитов с глубиной снижается. Только в редких случаях (например, восточное тело трубки Удачная, Зарница и др.) на глубоких горизонтах отмечены практически несерпентинизированные кимберлиты со свежим оливином и высоким содержанием карбонатного вещества. Для верхних горизонтов диатрем (до глубин 150–200 м) установлено снижение концентрации флогопита и увеличение

вверх по разрезам хлорита, вызванное замещением первого вторым. Хлоритизация флогопита сопровождается выносом значительного количества K_2O . В средних и нижних частях изученных разрезов диатрем отмечены также максимальные концентрации амакинита и пироаурита.

Большое влияние на особенности вторичной минерализации и её распределение в разрезах диатрем оказывают вмещающие породы. Несмотря на локализацию всех кимберлитовых полей СП в пределах терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, состав последних всё же существенно изменяется как по вертикали, так и по латерали. В районе трубок Мир и Интернациональная до глубины 380–450 м распространена терригенно-карбонатная толща нижнего палеозоя с большим количеством кластогенного материала. Глубже залегают галогенно-карбонатные породы с ограниченным количеством терригенного материала, содержащего пласты гипса и ангидрита. Этими особенностями вмещающих пород обусловлена специфичность вторичной минерализации упомянутых диатрем МКП: наличие здесь галита, ряда минералов бора (екатеринита, ферросайбелиита и даголита). На уровне соленосных толщ в разрезе вмещающих пород широко развиты амакинит и пироаурит, а вторичная переработка кимберлитов здесь особенно интенсивна, причём масштабы их проявлений не уменьшаются до разведанной глубины разведки диатрем (до 1 км и более).

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, отчего породы здесь иногда полностью переработаны. Вторичные изменения пород восточного тела выражены слабо, что подчёркивается неполной серпентинизацией оливина в отдельных блоках, меньшим содержанием других вторичных минералов и сравнительно небольшим приконтактным изменением. По-разному ведут себя вторичные минералы и на разведанную глубину коренных месторождений алмазов. В одних случаях (трубка Удачная) пока не установлены чёткие закономерности смены ассоциаций как порообразующих компонентов, так и минералов-примесей. Однако установлена неравномерность серпентинизации оливина, 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. В других случаях установлены

довольно чёткие 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 на Сибирской платформе и в других алмазонасных районах породы, слагающие трубки, сильно изменены. В них в первичном виде сохранилось незначительное количество некоторых породообразующих и аксессуарных минералов, а структуры и текстуры носят реликтовый характер. Проведёнными исследованиями отмечены существенные изменения состава кимберлитовых пород в процессе их постмагматической и гипергенной эволюции. Обычно в верхних частях диатрем присутствуют минералы различного происхождения: а) относящиеся только к ксенолитам фундамента или траппов (полевые шпаты), б) гидротермального происхождения (серпентины, хлориты и тальк), в) экзогенные образования (смектиты, каолинит, большинство мелкозернистого кварца и халцедон, гидроксиды железа и сидерит). На примере диатрем Сибирской платформы разработан комплекс методов для идентификации, количественного подсчёта 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 при вызванном их спадом изменении реакции среды: от щелочной до кислой с последующей нейтрализацией. Это 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 магниезиальным 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 образованию серпентина, брусита и других богатых водой минералов. Определённую роль во вторичном минералообразовании в кимберлитах Сибирской платформы сыграл сероводород, которым обогащены нижнепалеозойские толщи, вмещающие диатремы. Сероводород связывал железо в сульфиды и тем самым блокировал образование не свойственных кимберлитам карбонатов железа. Сероводород в ряде случаев послужил источником возник-

новения серной кислоты, которая, воздействуя на карбонаты, способствовала образованию гипса и других новообразований. Среды минералообразования были сравнительно бедны CO_2 , в связи с чем возникли основные водные карбонаты (пироаурит и гидромагнетит). Углекислота расходовалась также на образование карбонатов кальция и кальций-магниевого новообразования. Излишек в системе минералообразования магния определил в некоторой степени образование им более богатых 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41, № 3. – С. 281–288.
2. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 1998. – Т. 361, № 3. – С. 366–369.
3. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логинова А. Н.* Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. – 2009. – Т. 138, № 2. – С. 1–13.
4. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Тычков С. А.* Проблема алмазонасности Сибирской платформы // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2002. – № 1. – С. 9–36.
5. *Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г.* Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2000. – № 3. (9). – С. 37–55.
6. *Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А.* Тектонофизические исследования при алмазопоисковых работах. Методическое пособие. – М.: Научный мир, 2008. – 175 с.
7. *Горшков А. И., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Шлыков В. Г., Жухлистов А. П., Мохов А. В., Сивцов А. В.* Новый упорядоченный смешанослойный минерал лизардит-сапонит из кимберлитов Южной Африки // Доклады РАН. – 2002. – Т. 382, № 3. – С. 374–378.
8. *Дукардт Ю. А., Борис Е. И.* Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. – Воронеж: ВГУ, 2000. – 161 с.

9. Зинчук Н. Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
10. Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Яныгин Ю. Б. Особенности минерогенеза алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М.: МГТ, 2004. – 172 с.
11. Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н., Котельников Д. Д., Шлыков В. Г., Жухлистов А. П. Структурно-кристаллохимические преобразования слоистых минералов на разных стадиях гипергенного изменения кимберлитов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2002. – № 1. – С. 47–60.
12. Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д. Стратегия ведения и результаты алмазопроисловых работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
13. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Липашиова А. Н. Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // Руды и металлы. – 1999. – № 3. – С. 18–30.
14. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Горшков А. И. Идентификация и генезис лизардит-сапонитового смешанослоистого образования в кимберлитах одной из трубок Южной Африки // Литология и полезные ископаемые. – 2003. – № 1. – С. 87–96.
15. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Соколов В. Н. Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
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., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли // Труды НИИ геологии ВГУ. – Вып. 68. – Воронеж: ВГУ, 2013. – 99 с.
18. Зинчук Н. Н., Спеццус З. В., Зуенко В. В., Зуев В. М. Кимберлитовая трубка Удачная. Вещественный состав и условия формирования. – Новосибирск: НГУ, 1993. – 147 с.
19. Квасница В. Н., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. – М.: Недра, 1999. – 224 с.
20. Котельников Д. Д., Домбровская Ж. В., Зинчук Н. Н. Основные закономерности выветривания силикатных пород различного химического и минералогического типа // Литология и полезные ископаемые. – 1995. – № 6. – С. 594–601.
21. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратиферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
22. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1997. – № 2. – С. 53–63.
23. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдяных минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 53–61.
24. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2001. – № 12. – С. 45–51.
25. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 1. – С. 45–53.
26. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н., Кузьмин В. А. Морфогенетические разновидности каолинита в корях выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корях выветривания различных петрохимических типов пород // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2006. – № 5. – С. 19–25.
27. Мацюк С. С., Зинчук Н. Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. – М.: Недра, 2001. – 428 с.
28. Симоненко В. И., Толстов А. В., Васильева В. И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 108–112.
29. Харьков А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н. и др. Петрохимия кимберлитов. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
30. Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 296, № 5. – С. 1228–1233.
31. Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // Doklady Earth Sciences. – 2015. – V. 465, № 2. – P. 1297–1301.
32. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // Petrology. – 2001. – V. 9, № 6. – P. 576–588.
33. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I. et al. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry // Journal of Geochemical Exploration. – 2002. – V. 76, № 2. – P. 93–112.

REFERENCES

1. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N. Osnovnyye litodinamicheskiye tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [The main lithodynamic types of halos of indicator minerals of kimberlites and the setting of their formation], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1999, V. 41, No. 3, P. 281–288. (In Russ.)
2. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Koptil V. I. Poligenez almazov v svyazi s problemoy korennykh rossypey severovostoka Sibirskoy platformy [Polygenesis of diamonds in connection with the problem of bedrock placers in the northeastern Siberian platform], *Doklady Akademii nauk*, 1998, V. 361, No. 3, P. 366–369. (In Russ.)

3. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Loginova A. N.* Osobnosti raspredeleniya rossypnykhalmazov, svyazannykh s dokembriyskimi istochnikami [Features of the distribution of placer diamonds associated with Precambrian sources], *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva*, 2009, V. 138, No. 2, P. 1–13. (In Russ.)
4. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Tychkov S. A.* Problema almazonosnosti Sibirskoy platformy [The problem of diamond content of the Siberian platform], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta, Geologiya*, 2002, No. 1, P. 19–36. (In Russ.)
5. *Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G.* Geodinamicheskiy kontrol razmeshcheniya kimberlitovykh poley tsentralnoy i severnoy chastey Yakutskoy kimberlitovoy provintsii (petrokhimicheskiy aspekt) [Geodynamic control of the location of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakutsk kimberlite province (petrochemical aspect)], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta, Geologiya*, 2000, No. 3(9), P. 37–55. (In Russ.)
6. *Gladkov A. S., Bornyakov S. A., Manakov A. V., Matrosov V. A.* Tektonofizicheskiye issledovaniya pri almazoposkovykh rabotakh. Metodicheskoye posobiye [Tectonophysical research during diamond prospecting], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2008, 175 p. (In Russ.)
7. *Gorshkov A. I., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Shlykov V. G., Zhukhlistov A. P., Mokhov A. V., Sivtsov A. V.* Novyy uporyadochennyy smeshanosloynny mineral lizardit-saponit iz kimberlitov Yuzhnoy Afriki [New ordered mixed-layer lizardite-saponite mineral from kimberlites South Africa]. *Doklady RAN*, 2002, V. 382, No. 3, P. 374–378. (In Russ.)
8. *Dukardt Yu. A., Boris Ye. I.* Avlakogenez i kimberlitovyy magmatizm [Avlacogenesis and kimberlite magmatism], Voronezh, VGU publ., 2000, 161 p. (In Russ.)
9. *Zinchuk N. N.* Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoy i Vostochno-Yevropeyskoy platform [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms], *Geologiya i geofizika*, 1992, No. 7, P. 99–109. (In Russ.)
10. *Zinchuk N. N., Boris Ye. I., Yanygin Yu. B.* Osobnosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnykh tolshchakh (na primere verkhnepaleozoyskikh otlozheniy Sibirskoy platformy) [Peculiarities of diamond minerageny in ancient sedimentary strata (on the example of the Upper Paleozoic deposits of the Siberian platform)], Moscow, MGT publ., 2004, 172 p. (In Russ.)
11. *Zinchuk N. N., Zinchuk M. N., Kotelnikov D. D., Shlykov V. G., Zhukhlistov A. P.* Strukturno-kristallokhimicheskiye preobrazovaniya sloistykh mineralov na raznykh stadiyakh gipergennogo izmeneniya kimberlitov [Structural-crystal-chemical transformations of layered minerals at different stages of hypergene alteration of kimberlites]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2002, No. 1, P. 47–60. (In Russ.)
12. *Zinchuk N. N., Zuyev V. M., Koptil V. I., Chornyy S. D.* Strategiya vedeniya i rezultaty almazoposkovykh rabot [Strategy of conducting and results of diamond prospecting works], *Gornyy vestnik*, 1997, No. 3, P. 53–57. (In Russ.)
13. *Zinchuk N. N., Koptil V. I., Boris Ye. I., Lipashova A. N.* Tipomorfizm almazov iz rossypey Sibirskoy platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as a basis for prospecting for diamond deposits], *Rudy i metally*, 1999, No. 3, P. 18–30. (In Russ.)
14. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Gorshkov A. I.* Identifikatsiya i genesis lizardit-saponitovogo smeshanosloynnogo obrazovaniya v kimberlitakh odnoy iz trubok Yuzhnoy Afriki [Identification and genesis of lizardite-saponite mixed-layer formation in kimberlites of one of the pipes of South Africa]. *Litologiya i poleznye iskopayemye*, 2003, No. 1, P. 87–96. (In Russ.)
15. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Sokolov V. N.* Izmeneniye mineralnogo sostava i strukturnykh osobennostey kimberlitov Yakutii v protsesse vyvetrivaniya [Change in the mineral composition and structural features of the kimberlites of Yakutia in the process of weathering]. *Geologiya i geofizika*, 1982, No. 2, P. 42–53. (In Russ.)
16. *Zinchuk N. N., Melnik Yu. M., Serenko V. P.* Apokimberlitovyye породы [Apokimberlite rocks], *Geologiya i geofizika*, 1987, No. 10, P. 66–72. (In Russ.)
17. *Zinchuk N. N., Savko A. D., Kraynov A. V.* Kimberlity v istorii Zemli [Kimberlites in the history of the Earth], *Trudy NII geologii VGU*, Is. 68, Voronezh, VGU publ., 2013, 99 p. (In Russ.)
18. *Zinchuk N. N., Spetsius Z. V., Zuyenko V. V., Zuyev V. M.* Kimberlitovaya trubka Udachnaya. Veshchestvennyy sostav i usloviya formirovaniya [Udachnaya kimberlite pipe. Substance composition and conditions of formation]. *Novosibirsk, NGU*, 1993, 147 p. (In Russ.)
19. *Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil V. I.* Tipomorfizm mikrokristallov almaza [Typomorphism of diamond microcrystals], Moscow, Nedra publ., 1999, 224 p. (In Russ.)
20. *Kotelnikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N.* Osnovnyye zakonomernosti vyvetrivaniya silikatnykh porod razlichnogo khimicheskogo i mineralogicheskogo tipa [Main regularities of weathering of silicate rocks of various chemical and mineralogical types], *Litologiya i poleznye iskopayemye*, 1995, No. 6, P. 594–601. (In Russ.)
21. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Ob anomalii obshchey skhemy preobrazovaniya razbukhayushchikh glinistykh mineralov pri pogruzhении sodержashchikh ikh otlozheniy v stratisferu [About the anomaly of the general scheme of the swelling clay minerals transformation during the immersion of sediments containing them into the stratisphere]. *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Seriya geologiya*, 2003, No. 2, P. 57–68. (In Russ.)
22. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Osobnosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnykh format-siy [Peculiarities of clay minerals in deposits of various sedimentary formations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 1997, No. 2, P. 53–63. (In Russ.)
23. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Tipomorfnyye osobennosti i paleogeograficheskoye znachenie slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographic significance of micaceous minerals]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 1996, No. 1, P. 53–61. (In Russ.)

24. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoy kory [Conditions of accumulation and postsedimentary transformation of clay minerals in the sedimentary cover of the earth's crust]. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya, 2001, No. 12, P. 45–51. (In Russ.)
25. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v otlozheniyakh terrigennoy formatsii [Conditions of accumulation and postsedimentary transformation of clay minerals in the sediments of the terrigenous formation]. Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskoy, 2001, V. 76, No. 1, P. 45–53. (In Russ.)
26. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N., Kuzmin V. A.* Morfo-geneticheskiye raznovidnosti kaolinita v korakh vyvetrivaniiya i osadochnom chekhle zemnoy kory. Statya 1. Mekhanizm obrazovaniya kaolinita v korakh vyvetrivaniiya razlichnykh petrokhimicheskikh tipov porod [Morphogenetic varieties of kaolinite in weathering crusts and sedimentary cover of the earth's crust. Article 1. The mechanism of kaolinite formation in weathering crusts of various petrochemical types of rocks]. Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka, 2006, No. 5, P. 19–25. (In Russ.)
27. *Matsyuk S. S., Zinchuk N. N.* Opticheskaya spektroskopiya mineralov verkhney mantii [Optical spectroscopy of minerals of the upper mantle], Moscow, Nedra publ., 2001, 428 p. (In Russ.)
28. *Simonenko V. I., Tolstov A. V., Vasilyeva V. I.* Novyy podkhod k geokhimicheskim poiskam kimberlitov na zakrytykh territoriyakh [A new approach to geochemical prospecting for kimberlites in closed areas], Razvedka i okhrana, 2008, No. 4–5, P. 108–112. (In Russ.)
29. *Kharkiv A. D., Zuyenko V. V., Zinchuk N. N.* et al. Petrokhimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites], Moscow, Nedra publ., 1991, 304 p. (In Russ.)
30. *Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D.* Primene-niye klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonmernostey vyvetrivaniiya porod razlichnogo sostava [Application of cluster analysis to elucidate the regularities of weathering of rocks of different composition], Doklady AN SSSR, 1987, V. 296, No. 5, P. 1228–1233. (In Russ.)
31. *Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V.* The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform. Doklady Earth Sciences, 2015, V. 465, No. 2, P. 1297–1301.
32. *Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform. Petrology, 2001, V. 9, No. 6, P. 576–588.
33. *Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I.* et al. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry. Journal of Geochemical Exploration. 2002, V. 76, No. 2, P. 93–112.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается.

Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, недопустимо.