

КАРБОНАТИЗАЦИЯ КИМБЕРЛИТОВ ПРИ ПОСТМАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Н. Н. Зинчук

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я), г. Мирный

Поступила в редакцию 25 октября 2017 г.

Аннотация: проведенными исследованиями геологического строения и вещественного состава кимберлитов Сибирской платформы показана сложность и многообразие геолого-тектонических обстановок, которые следует учитывать при постановке прогнозно-поисковых работ на алмазы в каждом конкретном регионе. В зависимости от геолого-геофизической и геоморфологической обстановок залегания кимберлитовых диатрем, определяются особенности их прогнозирования и поисков. Важным критерием для поисков кимберлитовых тел в различных геолого-тектонических условиях является знание вещественного состава как искомым диатрем, так и вмещающих и перекрывающих их осадочных и магматических образований. Особое внимание следует уделять типоморфным особенностям как первичных, так и новообразованных в диатремах минералов. Каждый алмазоносный район характеризуется определенным комплексом типоморфных ассоциаций первичных и вторичных минералов кимберлитов. Охарактеризованы особенности постмагматического и гипергенного изменения кимберлитовых пород, главными среди которых является карбонатизация. Карбонатная составляющая общего расплава обособляется еще до затвердения силикатной части либо кристаллизуется (при падении температуры), либо разлагается (при падении давления) с удалением CO_2 . Процессы вторичного минералообразования проходили в большом интервале температур и вызванного их спадом изменения реакции среды от щелочной к кислой с последующей нейтрализацией, что зафиксировалось в форме растворения, дорастания и возникновения новых генераций вторичных минералов, в том числе и карбонатизации. Библиография 23 наименования, 3 рисунка.

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

CARBONATIZATION OF KIMBERLITES IN POSTMAGMATIC PROCESSES

Abstract: carried out investigations of geological structure and material composition of the Siberian platform kimberlites indicated complexity and diversity of geologic-tectonic situations, which should be considered when performing forecast-prospecting works on diamonds in each specific region. Depending on geologic-geophysical and geomorphological situation of kimberlite diatremes' occurrence specific features of their forecasting and prospecting are determined. Knowledge of material composition of both sought-for diatremes and hosting and overlapping them sedimentary and magmatic formations is an important criterion for prospecting of kimberlite bodies in various geologic-tectonic conditions. Special attention should be paid to typomorphic specific features of both initial and newly formed minerals in diatremes. Methods of studying postmagmatic and hypergene alteration of kimberlite rocks, as well as identifying secondary minerals and their associations are characterized. Carbonate constituent of general melt stands apart even before hardening of the silicate part and either crystallizes (when temperature falls), or resolves (when pressure falls) with removal of CO_2 . It is shown that processes of secondary mineral formation took place in a large interval of temperatures and caused by their drop change of medium reaction from alkaline to acidic with subsequent neutralization, which was registered in the form of dissolution, additional growth and emergence of new generations of secondary minerals. Bibliography: 23 titles, 3 figures.

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

Характерной особенностью кимберлитовых пород древних платформ Мира (Сибирской, Восточно-Европейской, Африканской и др.) является значительная изменчивость параметров их вещественного состава. Высокий градиент изменчивости параметров

их вещественных признаков в объеме кимберлитовых диатрем во многом связан с полигенностью и гетерохронностью компонентов самих слагающих трубки пород, охватывая диапазон условий образования от верхней мантии, через пневматолитово-гидротермаль-

ную стадию, до гипергенеза. В целом многообразие происходящих в диатремах процессов изменения кимберлитов с некоторой долей условности можно отнести к диафторезу, под которым обычно понимают [1–4] регрессивное минералогическое преобразование, происходящее в процессе приспособления магматических и метаморфических пород к новым условиям более низких ступеней метаморфизма. Определяющим фактором диафтореза является масса поступающих в систему минералообразования извне H_2O и CO_2 в процессе регрессивного метаморфизма. Таким условиям соответствуют особенности постмагматического преобразования кимберлитовых пород [5–11]. Ранее проведенными нами исследованиями показано, что сложность и контрастность минералогического облика реальных кимберлитовых пород в значительной степени обусловлены развитием комплекса вторичных минералов, по сути, превращая исходные магматические образования в апокимберлиты [8]. Установление места и роли каждого из вторичных минералов, реконструкция последовательности их образования, устойчивости в различных термобарических условиях имеют важное значение для понимания природы и преобразования кимберлитовых пород. Поэтому представляется актуальной разработка принципов и методов диагностики вторичных минералов кимберлитов, основанных на детальном комплексном изучении этих новообразований в собранном каменном материале из диатрем, образовавшимся в различных геолого-тектонических условиях, Мирнинского (МКП), Далдынского (ДКП), Алакит-Мархинского (АМКП), Верхнемунского (ВМКП) и Накынского (НКП) кимберлитовых полей СП. Особого внимания заслуживают исследования тех разновидностей кимберлитовых пород, макроскопическая диагностика которых затруднена в связи с интенсивными метасоматическими, пневматолитово-гидротермальными и гипергенными преобразованиями или принадлежностью к специфическим кратерным фациям слабо эродированных диатрем. Исследование различных аспектов типоморфизма вторичных минералов, возникающих в процессе становления и экзогенного преобразования кимберлитовых тел должны привести к разработке рекомендаций, в которых будет очерчен круг важных в поисковом отношении вторичных минералов и оценена степень их значимости для совершенствования минералогических методов поисков кимберлитовых диатрем, развитых в различных геолого-поисковых обстановках.

Вторичные минералы кимберлитов составляют обычно более 90% объема пород СП и ВЕП и представлены более 50 минеральными видами. Результаты комплексного изучения вторичных минералов кимберлитов и особенностей их влияния на состав и облик пород показывают [12–18], 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 (классов – силикаты, карбонаты, оксиды и гидроксиды, сульфиды, сульфаты, галогениды, фосфаты, бораты и битумы) проявляют свойственные только им особенности концентрации и распределения в породах и приводят к различному облику и составу кимберлитов. Доминирующим в комплексе породообразующих минералов кимберлитов является серпентин, а следующими по распространенности компонентами являются карбонаты, среди которых доминируют *кальцит* (рис. 1) и *доломит* (рис. 2), характеризующиеся широким многообразием форм выделений. Основная масса этих минералов, вместе с минералами группы серпентина, слагает (рис. 1–3) основной объем пород большинства кимберлитовых тел, “цементируя” дезинтегрированные породы и минералы различного происхождения. Резко меняется концентрация минералов в зависимости от степени постмагматического и гипергенного изменения кимберлитов, что также можно рассмотреть на примере трех опорных горизонтов диатремы Удачная, вертикальное расстояние между которыми составляет примерно 40 м. Так, в восточном теле трубки вверх по разрезу постепенно возрастает содержание кальцита (рис. 1) и убывает доломита (рис. 2). При этом нижний горизонт (190 м) характеризуется существенным разбросом значений, которые могут быть следствием как различной карбонатизации кимберлитов, так и неравномерного распределения ксеногенного материала из вмещающих диатрему пород. В западном теле содержание карбонатов также характеризуется существенным разбросом значений. В распределении кальцита наблюдается (рис. 1) обратная, по сравнению с распределением в восточном теле, закономерность – на верхнем горизонте содержание этого минерала 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 кимберлиты пород. В отношении доломита тенденция сохраняется – вверх по разрезу его содержание постепенно падает (рис. 2). В западном теле этого горизонта распределение кальцита имеет довольно сложное строение и характеризуется (рис. 1) 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 толщами 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. В содержании доломита, наоборот, проявляется (рис. 2) тенденция его увеличения к контактам с вмещающими породами. Фиксируется минимум в южной части диатремы, а на её восточном и западном флангах наблюдается два глубоких минимума. Заметна определенная корреляция тренда до-

ломита с аналогичным трендом восточного тела на контакте обоих тел. К следующему среднему горизонту (250 м) в восточном теле трубки ситуация существенно меняется. Наиболее высокие содержания кальцита зафиксированы на этом горизонте в приконтактной зоне на западе, а остальная часть трубки характеризуется достаточно равномерным распределением этого минерала с постепенным убыванием к её восточным границам. Максимальная концентрация доломита у контакта с западным телом, как и на горизонте 190 м, отмечается и на этом горизонте. Центральная часть тела характеризуется субширотной зоной пониженного содержания доломита. К востоку от неё значения тренда постепенно возрастает, достигая максимумов у северо- и юго-восточных контактов с вмещающими трубку толщами. В западном теле этого горизонта распределение карбонатов существенно меняется. Изолинии их концентрации здесь имеют меридиональное простирание, при котором прослеживается увеличение концентрации кальцита к

периферии диатремы. Доломит распределен более равномерно. Повышенные его значения приурочены к приконтактной зоне в восточной и южной частях диатремы и, в меньшей степени, к её северному флангу, но непосредственно у контактов с вмещающими породами концентрация его уменьшается. И более значительно меняются особенности распределения минерала на самом верхнем горизонте (295 м) и характеризуются 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. Содержание доломита на этом горизонте наиболее низкое и распределение его довольно равномерное. Повышение тренда содержания минерала наблюдается у южных и северо-западных контактов с вмещающими породами. В центре фиксируется четкий минимум, к северу, западу и юго-востоку от которого значение тренда концентрации постепенно возрастает.

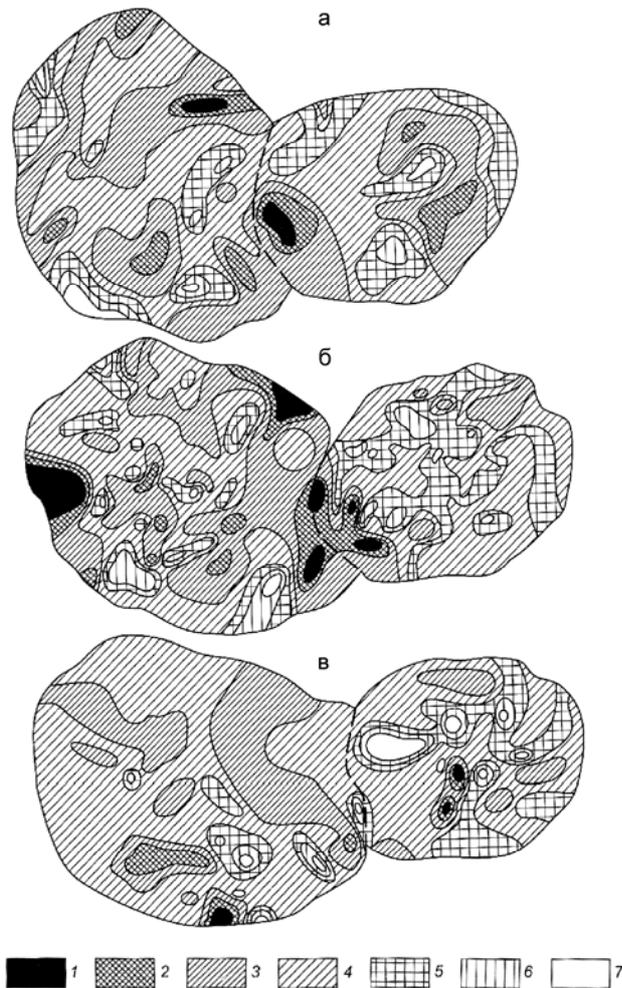


Рис. 1. Карта распределения кальцита в кимберлитовых породах трубки Удачная: Горизонты, м: а – 295, б – 250, в – 190. Концентрация кальцита, %: 1 – 30-35, 2 – 25-30, 3 – 20-25, 4 – 15-20, 5 – 10-15, 6 – 5-10, 7 – 0-5.

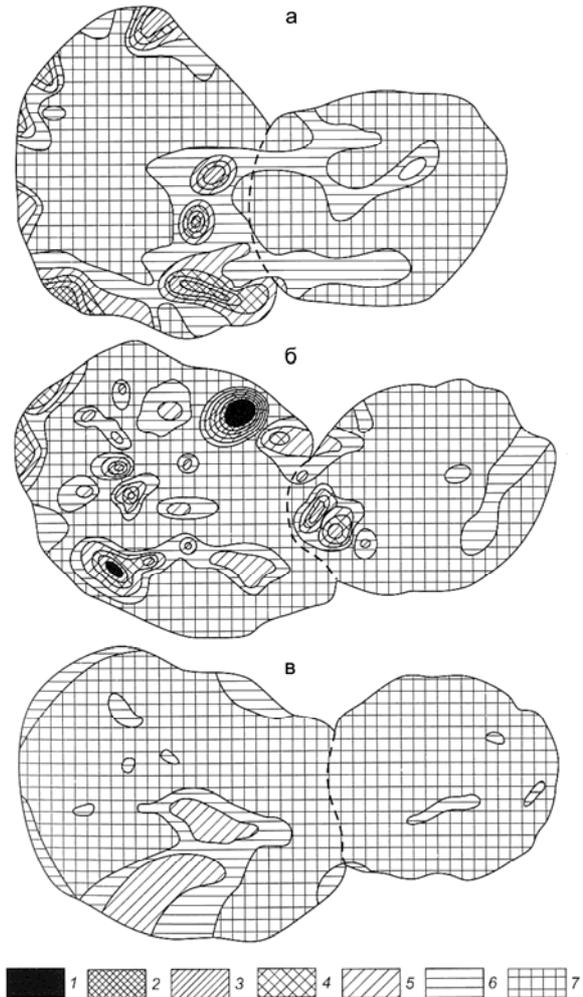


Рис. 2. Карта распределения доломита в кимберлитовых породах трубки Удачная: Горизонты, м: а – 295, б – 250, в – 190. Концентрация доломита, %: 1 – >30, 2 – 25-30, 3 – 20-25, 4 – 15-20, 5 – 10-15, 6 – 5-10, 7 – 0-5.

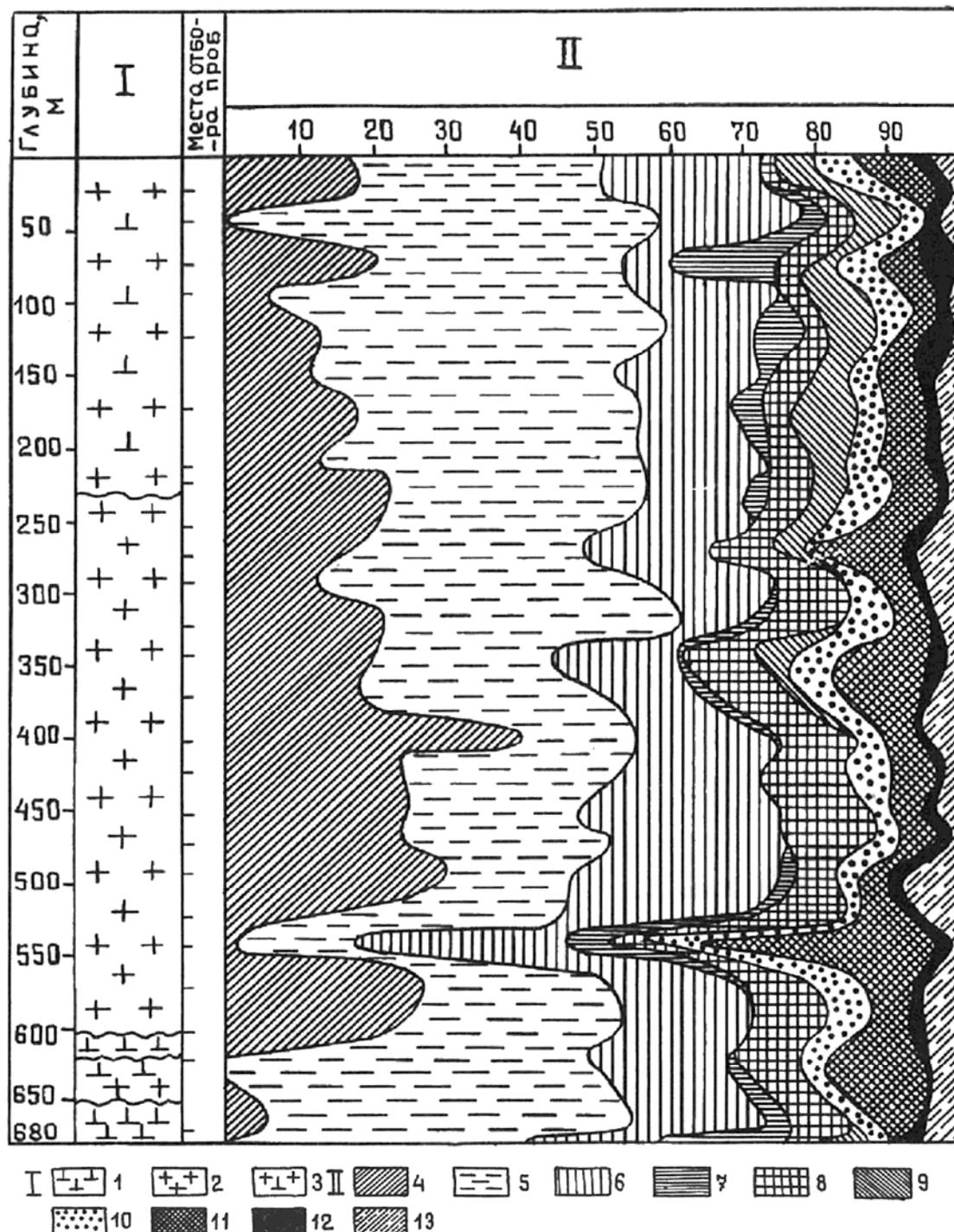


Рис. 3. Распределение минералов в основной массе кимберлитов трубки Удачная (по разведочной скважине 207): 1 – 3 – петрографическая колонка: 1 – порфиновый кимберлит первого этапа внедрения, 2 – кимберлитовая брекчия второго этапа внедрения, 3 – кимберлитовая брекчия второго этапа внедрения с автолитами 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.

По-разному ведут себя минералы и на глубину описываемого месторождения (рис. 3), что связано с различной степенью карбонатизации пород диатремы. Часть кальцита выполняет пустотно-трещинные образования, формируя в кимберлитах прожилки и друзы, жёды и щетки. В качестве позднего акцессорного

минерала кальцит установлен нами [5–8, 19 и др.] и в некоторых типах глубинных пород, в частности, в ильменит-титан-клиногумитовых дунитах (парагенетическая ассоциация Ti-клиногумит + K-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 на АП [4]. 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, несет 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 еще остаются [2–3, 15] вопросы об устойчивости и равновесности минерального состава кальцитсодержащих ассоциаций. Один из таких вопросов – являются ли они закономерными продуктами кристаллизации той или иной стадии кимберлитобразования 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 кимберлитобразования. 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 + (сиде-

рит); кальцит+пирит+сфалерит+ (сепиолит); кальцит+магнетит+пирит; кальцит+магнетит+серпентин; кальцит+арагонит ± магнетит; кальцит+гетит+магнетит; кальцит+пироаурит+пирит+магнетит. Наиболее устойчивы и часто встречаются 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, талк 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-пластинчатого целестина, а в агрегатном кальците – сростки и двойники кристаллов сфалерита. Особый интерес представляют кальцитсодержащие ассоциации из “плавающих рифов” – крупных мегаксенолитов, вмещающих карбонатные породы 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 (так же 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 [1], что может способствовать определению природы этих элементов в кимберлитах.

В ряде кимберлитовых трубок (Удачная, Интернациональная и др.) значительную долю состава пород определяет доломит (рис.3). По имеющимся минералогическим данным образование доломита во времени охватывает достаточно широкий интервал: от начала процессов метасоматоза верхнемантийных пород (наличие включений доломита в титанклиногумите 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 СП представляется возможным сделать один из 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 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 интересных вторичных минералов является *пироаурит*, который впервые был установлен [20–23] в кимберлитах трубки Удачная в виде прожилков и гнезд волокнистой и кристаллической разновидностей, ассоциирующих с кальцитом, магнетитом и серпофитом. Во включениях ультраосновных пород этой же трубки был нами позднее диагностирован пластинчатый пироаурит. Комплексное исследование вещественного состава разрабатываемых ме-

сторождений алмазов СП позволило [2, 6] получить новые данные об особенностях распределения и генезиса рассматриваемого минерала. Как в мономинеральных выделениях, так и в смеси новообразований пироаурит 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 таковыми по литературным данным [21]. На кривых ДТА дериватограмм таких образцов пироауриту соответствуют четкие эндотермические эффекты в области температур 210–285°C и 460–485°C. Показатели преломления минерала ($n_0=1,563$; $n_c=1,539$) 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. При этом четкой 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, так, например, гипс установлен в верхней части трубки (до глубины примерно 625 м), на средних горизонтах (615–660 м) отмечается целестин, ассоциирующий, как правило, с ограниченным 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 пироаурита 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 смещение блоков вдоль трещин и загибание волокнистых агрегатов пироаурита, образовавшихся раньше. Следует отметить, что указанные агрегаты в ассоциации с галитом нередко обохрены. При этом, иногда гидроокислы железа цементируют волокна пироаурита. В этих случаях на плоскости трещин параллельно расположены лейстовидно-волокнистые выделения пироаурита синевато-зеленого цвета, который в отдельных участках переходит в белую асбестовидную разновидность 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 жёды. 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 серпентинизированных 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 [15–18]. 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, варьирующей 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 во-

локнистых образований. Последние иногда образуют маломощные прожилки и мелкие жёды. Наибольшие концентрации пирроаурита 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 пирроаурита происходит из углекислых растворов магния, при взаимодействии их с растворимыми солями окисного железа. Наиболее вероятной формой окисного железа в растворе является сульфатная. Пирроаурит является неустойчивым минералом и при разрушении замещается гидроокислами железа. Разрушение жильного пирроаурита часто происходит уже на значительных глубинах. Поэтому в верхних горизонтах разрабатываемых месторождений неизменный пирроаурит встречается сравнительно редко. Следовательно, пирроаурит имеет широкое распространение в кимберлитовых породах СП, причем наиболее характерна пирроауритизация для глубоких горизонтов месторождений, где минерал нередко является породообразующим компонентом. Учитывая большую роль минерала в процессе технологической обработки месторождений, вопросам изучения пирроауритизации 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, гидромагнетит, хантит) встречаются в кимберлитовых породах СП в резко подчиненном количестве.

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 [8, 15], что среда вторичного минералообразования была сравнительно бедна CO_2 , в связи с чем возникли основные водные карбонаты (пирроаурит и гидромагнетит). 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 формирования более богатых слоистых силикатов (серпентина вместо талька), а также гидроксидов (брусита). Повышенные кальций-магниевые отношения 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 и 2), 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). В одних случаях (трубка Удачная) пока не установлены четкие закономерности смены ассоциаций как породообразующих компонентов, так и минералов-примесей. Процессы наложенной карбонатизации привели к образованию блоков плотных кимберлитов (рис. 1 и 2). 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 акцессорных минералов, а структуры и текстуры носят реликтовый характер. Существенно меняется состав кимберлитов в процессе их гипергенного изменения.

Заключение

Проведенными исследованиями разработан комплекс методов для идентификации, количественного подсчета и картирования постмагматических и гипергенных минералов кимберлитовых пород. Получены новые данные по типоморфизму вторичных минералов и их ассоциаций в кимберлитовых породах показали, что процессы вторичного минералообразования проходили в большом интервале температур и вызванного их спадом изменения 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 их в кимберлитах возникло в процессе гидролиза силикатов и других солей магния. 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. Обилие воды в системе способство-

вало образованию серпентина, брусита и других богатых водой минералов. Определенную роль во вторичном минералообразовании в кимберлитах СП сыграл сероводород, которым обогащены нижнепалеозойские толщи вмещающих диатремы. Сероводород связывал железо в сульфиды и тем самым заблокировал образование не свойственных кимберлитам карбонатов железа. Сероводород, в ряде случаев, послужил источником возникновения серной кислоты, которая, действуя на карбонаты, способствовала образованию гипса и других новообразований. Среда минералообразования были сравнительно бедны 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 магния 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.

Результаты проведенных комплексных исследований показали, что карбонатизация является важнейшим процессом изменения кимберлитовых пород, причем основная масса карбонатов в диатремах относится к вторичным образованиям, среди которых доминируют кальцит, доломит, арагонит, стронцианит, а также гидрокарбонаты – гидромагнезит и пироаурит. Жильный кальцит преобладает над всеми остальными карбонатами как в плане трубок, так и на всю их разведанную глубину (до 1200 м). Характерной особенностью этих образований является отсутствие в кимберлитах существенных количеств карбонатов на основе Fe^{2+} и Mg (сидерита и магнезита), что позволяет сделать определенные выводы о характере среды минералообразования в целом.

Источниками CO_2 для формирования различных генераций кальцитов были вмещающие породы, глубинные эманации и продукты окисления органических веществ, приводящие к образованиям минерала в виде друз, сферических почковидных выделений и зернистых агрегатов. По форме кристаллов кальцита можно определить, что позже всех форм минерала образовывались скаленоэдры. Учитывая факт обнаружения в кимберлитовых породах СП 75 типов скаленоэдров (из теоретически возможных 150 форм) можно с определенной долей условности говорить о сложности пневматолитово-гидротермальной и гипергенных процессов в диатремах. Приток слабокислых растворов затем привел к частичному растворению поверхностей кальцита с последующей генерацией граней. Форма кристаллов заметно изменялась в плане диатрем и очень мало на глубину. Для сферических выделений кальцита (достигающих 0,5 см в диаметре) характерно лучистое и концентрически-зональное строение. Совокупность мелких сфер обра-

зует почковидные агрегаты. Серия концентрических сфер возникает в результате резкого пересыщения раствора на определенном этапе роста кристаллов и образования множества дополнительных центров кристаллизации, из которых идет дальнейший выборочный рост лучистых индивидов. Главное условие возникновения доломита – концентрация составляющих компонентов в растворе и условия среды (рН). Соотношение между карбонатами кальция и магния в стандартных условиях есть функция парциального давления CO_2 и отношения концентрации ионов Са и Mg. С уменьшением этого отношения и увеличением парциального давления CO_2 поле кальцита сменяется областью доломита и арагонита, которые потом переходят в хантит и магнезит. Арагонит и хантит являются метастабильными фазами, но в условиях наложения процессов они сменяются стабильными фазами с более широким полем устойчивости. Стронцианит редок и обычно ассоциирует с целестином, при частичном растворении которого высвобождается стронций, образующий впоследствии карбонат. Гидромагнезит развивается в условиях низкого кальций-магниевого соотношения и низкого парциального давления CO_2 . Пироаурит образуется в аналогичных условиях с той разницей, что здесь в реакции принимают участие Fe^{2+} в виде растворимых сульфатов и хлоридов. Ассоциация пироаурита с жильным скаленоэдрическим кальцитом и его неустойчивость в гипергенных условиях позволяет предполагать широкий диапазон температур образования минерала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев, Е. И. Геохимические особенности кальцитов кимберлитовых комплексов Якутии / Е. И. Воробьев, С. И. Костровицкий, М. И. Арсенюк // Геохимия эндогенных процессов.– Иркутск: Наука. – 1979. – С.161–164.
2. Галимов, Э. М. Природа карбонатного компонента в кимберлитах / Э. М. Галимов // Геохимия. –1989.– №-3. – С.337–348.
3. Зайцев, А. И. Термолюминесценция гидротермального кальцита из кимберлитовых трубок / А. И. Зайцев, В. К. Маршинцев // Сб.: Магматические образования северо-востока Сибирской платформы. Ч.1.– Якутск: ЯФ СО РАН. – 1975.– С.223–234.
4. Nixon, P. H. Lesotho kimberlites / P.H.Nixon.- Cape Town: Lesotho national development corporation,1973. – 350 p.
5. Зинчук, Н. Н. Постмагматические минералы кимберлитов / Зинчук Н. Н. - М.: Недра. 2000. – 538 с.
6. Зинчук, Н. Н. Древние коры выветривания и поиски алмазных месторождений / Н. Н. Зинчук, Д. Д. Котельников, Е. И. Борис.– М.: Недра, 1983. – 196 с.
7. Зинчук, Н. Н. Преобразование минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе

выветривания / Н. Н.Зинчук, Д. Д. Котельников, В. Н. Соколов // Геология и геофизика. 1982. – №2. – С.42–53.

8. Зинчук, Н. Н. Апокимберлитовые породы / Н. Н. Зинчук, Ю. М. Мельник, В.П.Серенко // Геология и геофизика. 1987. – №10. – С.66–72.
9. Зинчук, Н. Н. Пироаурит в кимберлитовых породах Якутии и его генезис / Н. Н. Зинчук, Ю. М. Мельник, А. Д. Харьков // Докл. АН СССР. – 1982. – Т.267. – №3. – С.722–728.
10. Зинчук, Н. Н. Особенности профиля коры выветривания кимберлитовых пород Накынского поля / Н. Н. Зинчук, Ю. Б. Стегницкий, Ю. М. Мельник // Сб.:Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века.-Воронеж: ВГУ. – 2003. – С.74–80.
11. Вторичные минералы кимберлитов / Н. Н. Зинчук [и др.]– Киев: Наукова думка, 1987. – 282 с.
12. Антонюк, Б. П. Кристалломорфологическая эволюция кальцита в кимберлитах Якутии / Б. П. Антонюк // Сб.: Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков алмазных месторождений.-Мирный: МГТ. – 1998. – С.84–85.
13. Бобривич, А. П. Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии / А. П. Бобривич, И. П. Илупин, И. Т. Козлов и др.- М.: Недра, 1964. – 190 с.
14. Василенко, В. Б. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии / В. Б. Василенко, Н. Н. Зинчук, Л. Г. Кузнецова. – Новосибирск: Наука, 1997. – 574 с.
15. Зинчук, Н. Н. Распределение вторичных минералов в кимберлитовых породах Якутии / Н. Н. Зинчук // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1990. – № 5. – С.70–83.
16. Зольников, Г. В. Пластинчатый кальцит из трубки Мир / Г. В. Зольников, В. К. Маршинцев // Геология и геофизика. – 1965. – №1. – С.165–169.
17. Зольников, Г. В. К проблеме карбонатизации кимберлитовых пород / Г. В. Зольников, В. К. Маршинцев // Сб.: Новые данные о магматизме Якутской АССР.-Якутск: ЯФ СО АН СССР. – 1974. – С.32–49.
18. Кузнецов, Г. В. Гидротермальный кальцит из кимберлитов Якутии / Г. В. Кузнецов, С. С. Мацюк, Н. Н. Зинчук, В. П. Серенко // Зап. ВМО. – 1995. – №-6. – С.87–100.
19. Хантит в кимберлитах Якутии / П. П. Левшов [и др.] // Геология и геофизика. – 1964. – №-10. – С.161–169.
20. Мельник, Ю. М. О морфологии кристаллов карбонатов кальция из кимберлитов Якутии / Ю. М. Мельник, Н. Н. Зинчук, А. Д. Харьков //Минер. сб. Львов. ун-та.– 1983. – №-38. – Вып.1. – С.106–109.
21. Ровша, В. С. Пироаурит из кимберлитов Якутии / В. С. Ровша, С. И. Футенгендлер // Зап. ВМО. 1963. – Ч. 92. – Вып. 3. – С.354–359.
22. Харьков, А. Д. Коренные месторождения алмазов Мира /А. Д. Харьков, Н. Н. Зинчук, А. И. Крючков.– М.: Недра, 1995. – 555 с.
23. Хитров, В. Г. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава / В. Г. Хитров, Н. Н. Зинчук, Д. Д. Котельников // ДАН СССР. – 1987. – Т.296. – №5. – С.1228–1233.

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

Зинчук Николай Николаевич, д.г.-м.н., профессор, академик АН РС (Я), председатель (ЗЯНЦ) АН РС (Я), заслуженный геолог России. E-mail: nnzinchuk@rambler.ru

West Yakut scientific center (WYSC) AS Republic of Sakha (Yakutia), Mirny

Zinchuk N. N., Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chairman of WYSC, Academician of Academy of Science RS (Y), Celebrated Geologist of Russia. E-mail: nnzinchuk@rambler.ru