



УДК 550.4+544.02

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА КАРБОНАТОВ КАРБОНАТИТОВ КОСЬЮСКОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ ТИМАН)



Т. Г. Шумилова¹, Н. С. Ковальчук¹, А. Н. Мингалев¹, Ф. К. Диваев²

¹ Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, kovalchuk@geo.komisc.ru;

² «Центральная геолого-геофизическая экспедиция» Госкомгеологии
Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

Рассматривается вопрос об особенностях генезиса карбонатитов Косьюского массива. На основании полученных данных выделены три стадии образования — первичный собственно магматический процесс, аутометасоматоз и наиболее поздняя стадия существенного гидротермального низкотемпературного преобразования. Проведен сравнительный анализ изотопии карбонатов карбонатитов Косьюского массива с алмазсодержащими карбонатитами Узбекистана и о. Фуэртевентура.

Ключевые слова: *изотопный состав углерода и кислорода, карбонатиты, Косьюский массив, Средний Тиман.*

ISOTOPIC COMPOSITION OF CARBON AND OXYGEN OF CARBONATES FROM CARBONATITES OF THE KOSYU MASSIF (MIDDLE TIMAN)

T. G. Shumilova, N. S. Kovalchuk, A. N. Mingaley, F. K. Divaev

The question about Kosyu massif carbonatites genesis is developed. On the basis of the received data the three stages of carbonatite formation are demonstrated — initial magmatic, autometasomatic processes and the last hydrothermal low temperature stage. The comparative analysis of isotopic features of carbonates from Kosyu massif with diamond-containing carbonatites of Uzbekistan and Fuerteventura Island is provided.

Keywords: *isotopic composition of carbon and oxygen, carbonatites, the Kosyu massif, Middle Timan.*

Проблема формирования алмазов в природе относится к одному из важных и актуальных вопросов в области геологии и минералогии. В настоящее время известно несколько типов коренных источников алмазов, ведущее место среди которых занимают кимберлиты и лампроиты. Установлена высокая алмазность импактитов и некоторых специфических регионально-метаморфических пород [3, 5, 9]. В конце XX века выявлены алмазносные кимберлиты с высоким содержанием карбонатов, которые можно рассматривать как образования, переходные к собственно карбонатитам, названные карбонатитовыми кимберлитами [13]. К этому типу принадлежат и некоторые богатые трубки, например Нюрбинская. Кро-

ме того, есть сведения и о находках алмазов непосредственно в карбонатитах о. Фуэртевентура (Канарский архипелаг, Испания) [23] и Чагатайского комплекса (Узбекистан) [10], которые позволили более оптимистично оценивать перспективы алмазности различных карбонатитов, включая классические.

Общеизвестно, что на территории Среднего Тимана коренные источники алмаза до сих пор не обнаружены. Отдельные исследователи пытаются связать этот алмазносный объект с проявлением атипичной коренной алмазности аналогично объектам уральского типа [18], однако фактических сведений, позволяющих утверждать о проявлении туффитового магматизма, для этой гипотезы явно недостаточно. В то же время по предварительным показателям наиболее перспективным объектом на выявление коренных алмазов на Среднем Тимане являются породы Четласского комплекса [12, 25].

Косьюский массив карбонатитов расположен в юго-восточной части Четласского Камня Среднего Тимана и в настоящее время отличается наименьшей степенью изученности по сравнению с другими карбонатитовыми объектами. В тесной пространственной, временной и структурной связи с косьюскими карбонатитами находятся дайки магматитов щелочно-ультраосновного состава, щелочные метасоматиты и гидротермальные гетит-полевошпатовые и кварц-гетит-гематитовые образования (рис. 1). Их

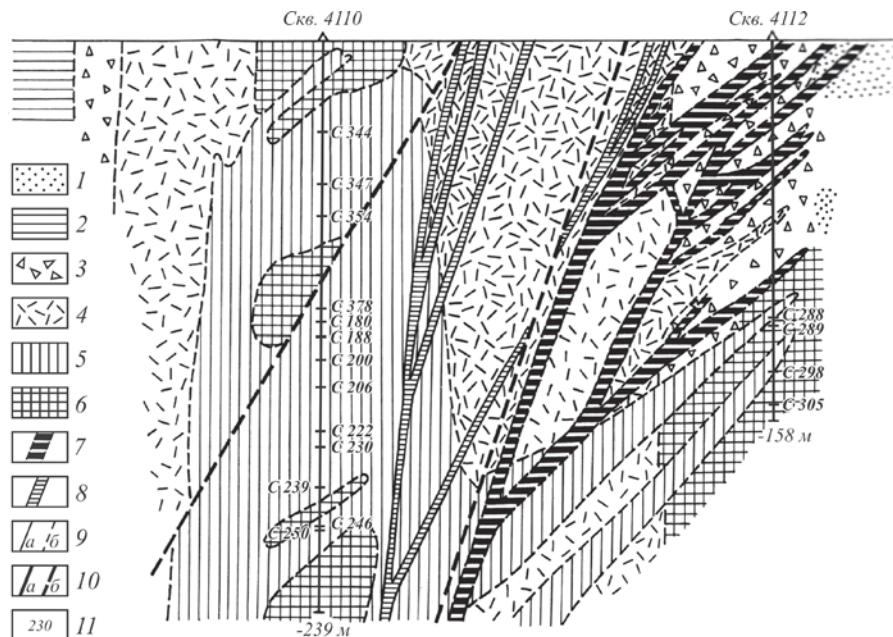


Рис. 1. Геологический разрез Косьюского массива по М. Н. Костюхину и В. И. Степаненко [8] с дополнениями.

Условные обозначения: 1 — кварцито-песчаники; 2 — сланцы; 3 — фенитизированные брекчии осадочно-метаморфических пород; 4 — флогопитовые слюдиты; 5 — карбонатиты; 6 — меланократовые фениты; 7 — гетит-полевошпатовые жилы; 8 — кварц-гетит-гематитовые жилы; 9 — контакты: а — достоверные, б — предполагаемые; 10 — тектонические зоны: а — достоверные, б — предполагаемые; 11 — номера точек опробования керна

детальная характеристика приведена в работах Ю. П. Ивенсена [6], М. Н. Костюхина, В. И. Степаненко [8], А. Б. Макеева с соавторами [12], И. Л. Недосековой с соавторами [14] и других. По данным М. Н. Костюхина и В. И. Степаненко эта ассоциация пород формировалась в условиях субплатформенного тектонического режима, она тяготеет к зонам разломов северо-восточного простирания, длительное время сохранявшим тектоническую активность и имеющим глубинное заложение. Согласно В. И. Степаненко и Н. В. Суханову [19] карбонатиты Косьюского массива имеют метасоматическое происхождение по фенитам и полевошпатовым метасоматитам с мантийным источником углекислоты. По мнению И. Л. Недосековой с соавторами [14, 15], на основе геохимических исследований предполагается существование в пределах Четласского комплекса айкелит-карбонатитовой ассоциации, являющейся продуктом первичной богатой карбонатом магмы. Несмотря на многочисленные работы, особенности формирования Косьюского массива не были достаточно изучены, в частности в плане механизма образования свободного углерода.

С целью установления особенностей формирования косьюских карбонатитов и оценки перспективности

Косьюского массива на предмет возможной алмазоносности нами проведен анализ изотопного состава углерода и кислорода карбонатитов.

Изотопные исследования карбонатитов карбонатитов выполнены в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (аналитик И. В. Смолева). Разложение карбонатитов в ортофосфорной кислоте и измерение изотопного состава углерода и кислорода в режиме непрерывного потока гелия производились на аналитическом комплексе фирмы Termo Fisher Scientific (Бремен, Германия), включающем систему подготовки и ввода проб Gas Bench II, соединенную с масс-спектрометром DELTA V Advantage. Значения $\delta^{13}\text{C}$ даны в промилле относительно стандарта PDB, $\delta^{18}\text{O}$ — стандарта SMOW. При калибровке использованы международные стандарты NBS 18 и NBS 19. Ошибка определения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ составляет $\pm 0.1\text{‰}$ (1 σ).

В целом карбонатиты Косьюского массива характеризуются существенными вариациями изотопного состава углерода и кислорода: $\delta^{13}\text{C} = -3.6 \div -6.5\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = +8.6 \div +21.1\text{‰}$ (см. таблицу).

Среднее значение $\delta^{13}\text{C}$ карбонатитов косьюских карбонатитов составляет -4.6‰ . По данным Й. Хёфса [20] большинство карбонатитов и кимберлитов характеризуются величиной $\delta^{13}\text{C}$

Результаты анализа изотопного состава углерода и кислорода карбонатитов (Косьюский массив)

n	Номер образца	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ PDB	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ SMOW
1	C 344-1	-3.7	11.9
2	C 344-2	-3.7	13.1
3	C 347-1	-3.6	10.4
4	C 347-2	-3.7	10.9
5	C 354	-3.6	14.1
6	C 378	-4.4	12.4
7	C 180-1	-6.5	20.8
8	C 180-2	-6.2	21.1
9	C 188-1	-5.8	17.1
10	C 188-2	-5.0	18.1
11	C 200	-6.1	18.4
12	C 206	-6.2	20.5
13	C 222-1	-4.2	11.6
14	C 222-2	-4.1	11.5
15	C 230-1	-3.9	12.6
16	C 230-2	-3.6	13.2
17	C 239-1	-4.5	15.4
18	C 239-2	-3.9	16.7
19	C 246	-4.6	10.0
20	C 250	-5.0	18.8
21	C288-1	-4.4	9.2
22	C 288-2	-3.9	10.0
23	C 289-1	-4.5	8.8
24	C 289-2	-3.6	9.9
25	C 298	-4.7	8.6
26	C 305	-5.8	12.1
	Среднее	-4.6	13.7

от -4.0 до -7.0‰ , свидетельствуя о глубинном источнике углерода. Значения, выходящие за эти пределы, могут быть связаны с процессами выветривания или гидротермального изменения. При этом более высокие значения $\delta^{13}\text{C}$ объясняются термодинамическим эффектом фракционирования изотопов углерода, вызываемым снижением температуры процесса карбонатитообразования [19].

Изотопный состав кислорода в косьюских карбонатитах отличается большим разбросом значений на фоне сравнительно однообразного изотопного состава углерода. Кислородные метки охватывают диапазон от мантийных значений до области интенсивного низкотемпературного преобразования карбонатитов вследствие гидротермально-метасоматических процессов [11]. В скв. 4112 карбонатное вещество отличается наиболее высокой степенью сохранности и изотопные характеристики с хорошей точностью попадают в мантийный квадрат, при петрографическом исследовании в соответствующих образцах нами выявлены первичные магматические структуры карбонатита (рис. 2, а).

Имеющийся каменный материал позволил проследить особенности из-

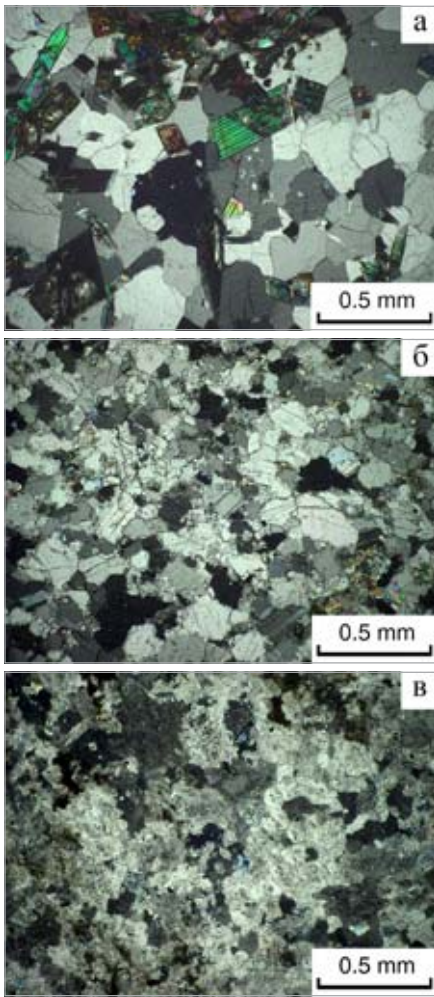


Рис. 2. Косьюские карбонатиты, шлифы, проходящий свет, николи скрещены: а — первичный (1-я стадия), обр. С-289; б — слабо измененный (2-я стадия), обр. С-347; в — сильно измененный (3-я стадия), обр. С-188

менения изотопного состава углерода и кислорода косьюских карбонатитов по разрезу (рис. 3). Наблюдается неравномерное распределение значений изотопов углерода и кислорода в карбонатитах по скв. 4110 на глубину более 200 м, где прослеживается обратная корреляция между значениями изотопного состава углерода и кислорода.

Вниз по разрезу наблюдается чередование изотопных составов, отвечающих малоизмененным магматическим карбонатитам и сильноизмененным разностям, что подтверждается также данными петрографических наблюдений и особенностями геологического разреза (рис. 1, 2, 3).

В интервале 110–150 м выявлены существенные вариации значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, где наблюдается значительное утяжеление кислорода при некотором облегчении углерода. Согласно М. Н. Костюхину и В. И. Степаненко [8] выше по разрезу в интервале 89.5–134.8 м отмечается зона

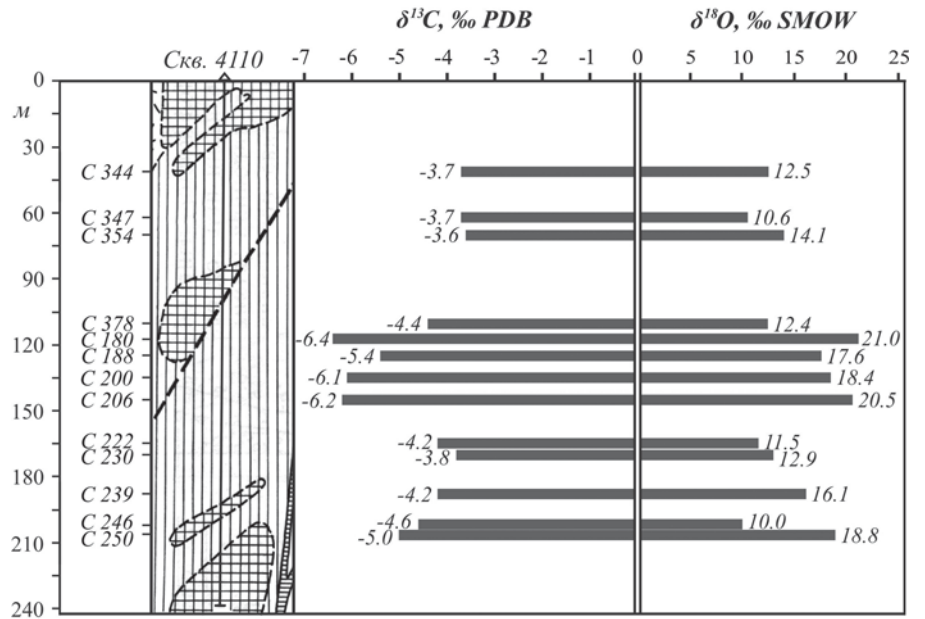


Рис. 3. Распределение изотопов углерода и кислорода карбонатов карбонатитов Косьюского массива по разрезу. Усл. обозн. к колонке см. на рис. 1

предполагаемого тектонического нарушения. Выявленные особенности изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ свидетельствуют о проявлении в интервале 110–150 м более поздней низкотемпературной стадии гидротермально-метасоматического преобразования карбонатитов, что хорошо отражается в структуре породы (рис. 2, б, в).

Для сравнительного анализа возможных условий образования с карбонатитовыми объектами с уже выявленными алмазами нами построена диаграмма соотношений изотопного состава углерода и кислорода карбонатитов Косьюского массива, Чагатайского комплекса и о. Фуэртевентура (рис. 4).

Точки составов изотопов углерода и кислорода карбонатитов о. Фуэртевентура ложатся в контур области значений, характерных для отщепленных от мантии магматических карбонатитов, представляющих собой начальную стадию кристаллизации, не подвергшейся более позднему метасоматическому преобразованию [17]. Канарские карбонатиты являются типичными порождениями несиликатных дифференциатов щелочно-ультраосновных магм, это классические магматические карбонатиты, представленные интрузивными и субвулканическими фациями океанического типа, приуроченными к подня-

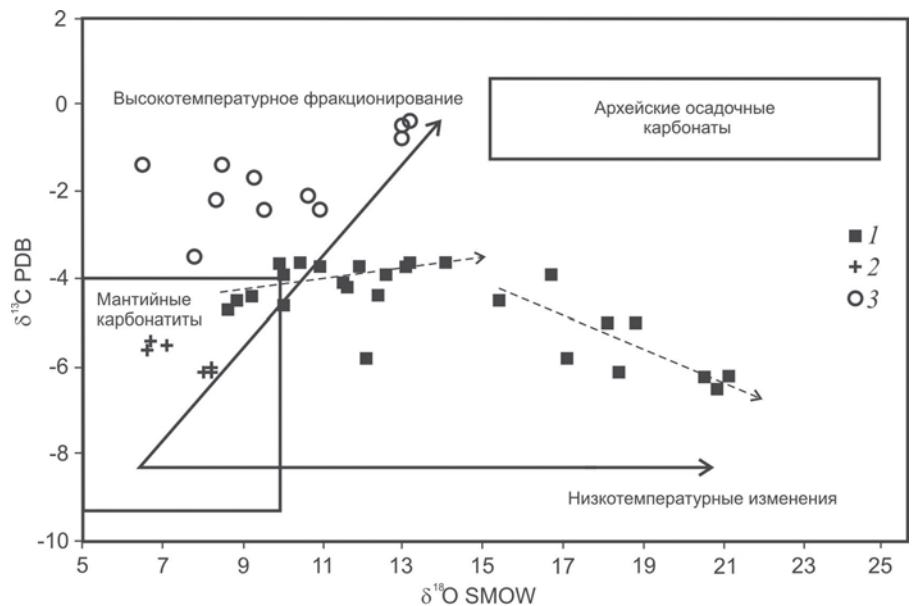


Рис. 4. Вариации изотопного состава углерода и кислорода карбонатов в карбонатитах: 1 — Косьюского массива; 2 — о. Фуэртевентура (Испания); 3 — Чагатайского комплекса (Узбекистан) на диаграмме К. И. Лохова [11]. Пунктирными стрелками показаны условные тренды эволюции косьюских карбонатитов



тию океанической коры, проявляющему современную активную тектоническую деятельность [23].

По данным [4, 27] изотопный состав углерода чагатайских карбонатов $\delta^{13}\text{C}$ находится в пределах от -4.3 до -5.2 ‰. Полученные нами значения изотопного состава углерода и кислорода для этого же объекта образуют область, выходящую за пределы мантийного квадрата с пределами значений $\delta^{13}\text{C} = -0.4 \div -3.5$ ‰ и $\delta^{18}\text{O} = 6.5 \div 13.2$ ‰ (рис. 4). Данное несоответствие вероятно связано с различными выборками, которые являются результатом опробования в различной степени измененных карбонатов — первично магматических в первом случае и затронутых высокотемпературным автометасоматозом во втором, что вполне согласуется с выделенными ранее стадиями формирования чагатайских карбонатов [27]. В то же время, по мнению А. В. Лапина с соавторами [10], данные карбонаты представляют собой особый тип карбонатитоподобных алмазоносных магматитов немантийного происхождения, образование алмазов в которых связывается с восстановленными глубинными флюидами, аномальными стрессовыми нагрузками и высокими температурами, свойственными мощным коллизионным зонам.

Карбонаты Косьюского массива местами существенно обогащены легким кислородом и попадают в интервал характерный для мантийных образований (рис. 4). Однако в большинстве случаев отмечается обогащение карбонатов в той или иной мере тяжелым изотопом кислорода. Анализируя положение точек опробования в разрезе, характер соотношения изменений изотопных данных с геологическими особенностями разреза, значения составов изотопов углерода и кислорода косьюских карбонатов условно можно разделить на два тренда. Первая группа точек формирует тренд в сторону небольшого утяжеления $\delta^{13}\text{C}$ (от -4.7 до -3.6 ‰) и утяжеления $\delta^{18}\text{O}$ (до 14.1 ‰), что, вероятно, может свидетельствовать о первичной магматической природе карбонатита с небольшими проявлениями автометасоматоза вследствие взаимодействия с остаточной флюидной фазой. Вторая — образует тренд в сторону заметного облегчения $\delta^{13}\text{C}$ (до -6.5 ‰) при значительном утяжелении $\delta^{18}\text{O}$ (до 21.1 ‰), отвечая тренду гидротермальной стадий преобразования карбонатов [17].

В целом косьюские карбонатиты характеризуются мантийными или близкими к ним значениями $\delta^{13}\text{C}$, но варьируют по значениям $\delta^{18}\text{O}$. Наблюдаемое разделение отражает фракционирование в процессе формирования и изменения карбонатитов [20].

Полученные нами результаты в определенной мере согласуются с данными В. И. Степаненко, Н. В. Суханова [19] и А. Б. Макеева с соавторами [12], карбонатиты характеризуются изотопным составом углерода и кислорода, свидетельствующем о ювенильном источнике углекислоты.

В то же время по сравнению с более ранними представлениями о метасоматическом генезисе карбонатитов [12, 19] на основании совокупного анализа геологических, изотопных и петрографических наблюдений нами выделяются три стадии формирования карбонатитов: 1) магматическая, 2) автометасоматическая, 3) гидротермальная. Первично магматическая природа косьюских карбонатитов также хорошо согласуется с последними геохимическими данными [14].

Диагностика первично магматического карбонатита в большинстве случаев затрудняется проявлениями автометасоматоза, вызванного предположительно отделившейся водой при дифференциации и кристаллизации щелочно-силикат-карбонатитового расплава, обогащенного водой и углекислотой. Последнее подтверждается проведенными ранее исследованиями флюидной составляющей карбонатитов [24]. Согласно изучению газово-жидких включений с использованием газовой хроматографии, было установлено, что флюидная фаза, содержащаяся в карбонатите, преимущественно представлена H_2O и CO_2 при существенно подчиненном содержании CO и еще меньшем количестве H_2 и углеводородов. Несмотря на существенную измененность карбонатитов в целом, выявленные реликты первичных структур, коррелирующие с изотопным составом, позволяют свидетельствовать о магматической стадии формирования карбонатитов.

Известные на сегодняшний день данные об условиях собственно магматической стадии образования карбонатитов охватывают диапазон температур в среднем от 600 до 900 °С, при этом непосредственно карбонатитовый парагенезис образуется при 625 °С [2]. Автометасоматоз предположительно протекает при незначительно пони-

женных температурах относительно раскристаллизации расплава. Гидротермально-метасоматический процесс характеризуется существенно пониженными температурами — порядка 100 – 400 °С, источником флюида для которых являются продукты дистилляции остывающего магматического очага [2].

Наличие самородного углерода (графита и его псевдоморфоз по алмазу) в карбонате косьюских карбонатитов в совокупности с составом флюида, позволило сделать вывод о геохимически благоприятной природе косьюских карбонатитов для формирования алмазов [25]. Учитывая достаточно высокую температуру первого этапа образования карбонатитов, можно предположить, что самородный углерод из карбонатитов Косьюского массива образовался за счет восстановленных компонентов флюида [22] или посредством восстановления углерода двухвалентным железом из CO_2 [1].

Полученные нами результаты демонстрируют, что Косьюский комплекс характеризуется формированием карбонатитов в три стадии, включая собственно магматическую. На данный момент еще недостаточно ясно, на какой стадии формируется самородный углерод. Его образование может быть теоретически связано с любой стадией, включая кристаллизацию в карбонатном расплаве [26] и образование алмазов из флюидной фазы при пониженных термодинамических параметрах, возможность образования которых подтверждена многочисленными экспериментальными данными по синтезу алмазов как из газообразной, так и в жидкой среде, не требует сверхвысокого давления [22] и позволяет получать крупные монокристаллы алмазов [28, 29]. Образование свободного углерода, в том числе алмазов в косьюских карбонатитах может быть связано с воздействием восстановленных глубинных флюидов в условиях аномальных стрессовых нагрузок, подобно алмазоносным карбонатитам Чагатайского комплекса [10], анализ тектонической истории исследуемой территории [16] демонстрирует в достаточной степени сходные черты с проявлением мантийного магматизма с постмагматическими и активными гидротермально-метасоматическими процессами.

Таким образом, в процессе исследований выявлены три стадии формирования косьюских карбонатитов, включая собственно магматическую,



автометасоматическую и низкотемпературную гидротермально-метасоматическую. Сравнительный анализ изотопного состава углерода и кислорода карбонатов карбонатитов Косьюского массива, Узбекистана и о. Фуэртевентура, геохимические особенности флюидных включений, а также наличие графита и его псевдоморфоз по алмазу в косьюских карбонатитах, позволяют сделать вывод о перспективности Косьюского массива на обнаружение коренных алмазов.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Уральского отделения РАН для молодых учёных и аспирантов (2010–2011 гг.) и проекта УрО РАН № 12-У-5-1026.

Авторы выражают благодарность И. И. Голубевой, Т. А. Пономаревой, Ю. А. Ткачеву и В. И. Ракину за научные консультации, И. В. Смолевой и С. И. Исаенко за помощь в аналитических исследованиях и особую признательность В. И. Степаненко за предоставленный материал и научные консультации при подготовке статьи.

Литература

1. Баталева Ю. В. Экспериментальное моделирование минералообразования при карбонат-оксидном и карбонат-оксид-сульфидном взаимодействии в условиях литосферной мантии: Автореф. дис. ... кандидата геол.-мин. наук. Новосибирск, 2012. 17 с.
2. Бурцева М. В. Гидротермальное минералообразование в карбонатитах Западного Забайкалья и Индии: Автореф. дис. ... кандидата геол.-мин. наук. Улан-Удэ, 2012. 17 с.
3. Ваганов В. И. Алмазные месторождения России и мира. (Основы прогнозирования). М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 371 с.
4. Диваев Ф. К. Чагатайский трахит-карбонатитовый комплекс Южного Нуратау: Автореф. дис. ... кандидата геол.-мин. наук. Ташкент, 2000. 25 с.
5. Зинчук Н. Н. Постмагматические минералы кимберлитов. М.: Недра, 2000. 538 с.
6. Ивенсен Ю. И. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.-Л.: Наука, 1964.
7. Когарко Л. Н., Рябчиков И. Д., Диваев Ф. К., Вол Ф. Режим соединений углерода алмазоносных карбонатитов Узбекистана (данные изотопии углерода и термодинамические расчеты) // Геохимия, 2010. № 11. С. 1123–1131.
8. Костюхин М. Н., Степаненко В. И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.
9. Лаврова Л. Д., Печников В. А., Плеваков А. М. и др. Новый генетический тип алмазных месторождений. М.: Научный мир, 1999. 228 с.
10. Лапин А. В., Диваев Ф. К., Костицын Ю. А. Петрохимическая типизация карбонатитоподобных пород Чагатайского комплекса Тянь-Шаня в связи с проблемой алмазоносности // Петрология, 2005. Т. 13. № 5. С. 548–560.
11. Лохов К. И., Лобач-Жученко С. Б., Прасолов Э. М., Арестова Н. А. Изотопный состав серы сульфидов, углерода и кислорода карбонатов архейских субщелочных высоко-Мg интрузий (санукитоидов) Карелии: к характеристике мантийного источника: Материалы XVIII симпозиума по геохимии изотопов имени академика А. П. Виноградова. Москва, 2007. С. 161–162.
12. Макеев А. Б., Лебедев В. А., Брянчанинова Н. И. Магматиты Среднего Тимана. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 348 с.
13. Мальков Б. А. Карбонатитовые кимберлиты — новый тип алмазоносных пород // ДАН СССР, 1975. Т. 221. № 5. С. 1170–1173.
14. Недосекова И. Л., Удоратина О. В., Владыкин Н. В., Прибавкин С. В., Гуляева Т. Я. Петрохимия и геохимия дайковых ультрабазитов и карбонатитов Четласского комплекса (Средний Тиман) // ЕЖЕГОДНИК-2011. Тр. ИГГ УрО РАН, 2011. Вып. 158. С. 122–130.
15. Недосекова И. Л., Удоратина О. В., Владыкин Н. В., Прибавкин С. В. Геохимия и петрохимия карбонатитов и дайковых ультрабазитов Четласского комплекса (Тиман) // Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма: Материалы XXVII Международной конференции. Минск: Право и экономика, 2011. С. 141–143.
16. Оловянишников В. Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 163 с.
17. Рипп Г. С., Кобылкина О. В., Дорошкевич А. Г., Шаракшинов А. О. Позднемезозойские карбонатиты Западного Забайкалья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2000. 224 с.
18. Рыбальченко А. Я., Рыбальченко Т. М., Силаев В. И. Комментарии к некоторым традиционным заблуждениям в генетических оценках алмазных месторождений уральского типа // Тр. Института геологии Коми научного центра УрО РАН, 2010. Вып. 127. С. 92–113.
19. Степаненко В. И., Суханов Н. В. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатитов Среднего Тимана // Доклады АН СССР, 1980. Т. 251. № 3. С. 699–702.
20. Хёфс Й. Геохимия стабильных изотопов. М.: Мир, 1983. 198 с.
21. Шумилова Т. Г. Способ поисков алмазов некимберлитового типа: патент 2087012 Рос. Федерации; опубл. 10.08.1997, Бюл. № 22.
22. Шумилова Т. Г. Минералогия самородного углерода. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 316 с.
23. Шумилова Т. Г. Карбонатиты острова Фуэртевентура (Канарский архипелаг, Испания) как особый тип алмазоносных пород / Под ред. А. М. Пыстина // Проблемы геологии и минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 248–261.
24. Шумилова Т. Г., Сокерина Н. В., Шанина С. Н., Радаев В. А. и др. Типоморфные особенности карбонатов карбонатитов Косьюского массива на микро- и наноуровне // Минералы и минералообразование, структура, разнообразие и эволюция минерального мира, роль минералов в происхождении и развитии жизни, биоминеральные взаимодействия. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2008. С. 411–426.
25. Шумилова Т. Г., Филипов В. Н., Каблис Г. Н. Графит и его псевдоморфозы по алмазу в карбонатитах Косьюского массива (Тиман) // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона: Материалы Всероссийского совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 137–138.
26. Шушканова А. В., Литвин Ю. А. Фазовые отношения при плавлении алмазообразующих карбонат-силикат-сульфидных систем // Геология и геофизика, 2005. Т. 46. № 12. С. 1335–1344.
27. Djuraev A. D., Divaev F. K. Melanocratic carbonatites — new type of diamond-bearing rocks, Uzbekistan / Mineral Deposits: Processes to Processing. Stanley et al. (eds.), Balkema, Rotterdam, 1999. V.1. P. 639–642.
28. Hemley R. J., Chen Y. C. and Yan C. Y. Growing single-crystal diamond by chemical vapor deposition. Elements, 2005. P. 39–43.
29. Ho S. S., Yan C. S., Liu Z., Mao H. K. and Hemley R. J. Prospects for large single crystal CVD diamonds, Industrial Diamond Review, 66, 2006. P. 28–32.

Рецензенты:

д. г.-м. н. В. Л. Андреев,
к. г.-м. н. И. И. Голубева