

2. Нилов М.Ю., Юдин С.Н., Кулешевич Л.В. Геологическое строение и геофизические исследования Северной Приграничной площади зеленокаменного пояса Ялонвара-Хатту-Тулос // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск. Вып. 9. 2006. С. 100-120.

3. Юдин С.Н. Информационный отчет о результатах поисков месторождений золота и МПГ на участке Приграничный Северный в пределах гранит-зеленокаменной области Ялонвара-Иломанси за 2004 г. Петрозаводск. ТГФ. 2004.

Докембрийские кимберлиты Восточно-Европейского кратона

Носова А.А.¹, Кононова В.А.¹, Самсонов А.В.¹, Ушков В.В.²

¹ ИГЕМ РАН, г. Москва, e-mail: nosova@igem.ru

² ГУП РК «Карельская ГЭ», г. Петрозаводск

Подавляющее большинство известных в Мире проявлений кимберлитов имеют фанерозойский возраст. Однако практически на всех древних кратонах известны единичные раннедокембрийские проявления алмазоносных ультраосновных пород, и в существенно большем количестве – позднедокембрийские.

Для архейского времени характерны алмазоносные породы коматиитового типа, а для палеопротерозоя – в большей степени кимберлитового. Палеопротерозойские кимберлиты установлены в Западной Африке (Габон, район Mitzic, 1.9-2.0 млрд. лет) и Южной Африке (Kuraman, 1.6-1.7 млрд. лет), в Австралии (Brockman Creek, 1.9 млрд. лет, и Turkey Well, 2.2 млрд. лет) и др.

Позднедокембрийские кимберлиты Южной Африки представлены в том числе такими высокопродуктивными трубками как Премьер (около 1200 млн. лет) и Венешиа (530 млн. лет), в Индии - Анантапур, (около 1100 млн. лет), в Австралии – Agies (около 1200 млн. лет). Это краткое перечисление показывает, что минерагенический потенциал докембрийских кимберлитов может быть весьма высоким.

Восточно-Европейская платформа в отношении проявлений докембрийских кимберлитов не является исключением среди древних кратонов: в ее пределах помимо промышленно-алмазоносных девонских кимберлитов Архангельской провинции, установлены докембрийские кимберлиты и лампроиты трех возрастных уровней. Эти возрастные уровни отвечают относительно коротким временным интервалам, в течение каждого из которых кимберлитовые проявления квазисинхронно формировались в различных частях платформы. Наиболее ранние проявления датируются *поздним палеопротерозоем* (около 2000 и 1800 млн. лет назад). Следующий момент проявления внутриплитного магматизма этого типа - *мезопротерозой* (средний рифей, около 1200-1100 млн. лет назад). Затем последовал *неопротерозойский* импульс кимберлитового магматизма (с возрастом около 600 млн. лет назад). Таким образом, докембрийские кимберлитовые проявления Восточно-Европейского кратона (ВЕК) имеют палео-, мезо- и неопротерозойский возраст.

Возраст и геодинамическая обстановка формирования. *Неопротерозойские* проявления кимберлитового магматизма на ВЕК представлены полями Каави-Куопио и Куусамо в Восточной Финляндии [11]. Они входят в число кимберлитовых проявлений обширной области пассивной окраины океана Япетус, открывшегося в ходе распада суперконтинента Родинии. Кимберлиты, связанные с этой геодинамической обстановкой, известны в пределах Востока Канады (проявления Torngats, Otish, 630-550 млн. лет) и Западной Гренландии (проявления Maniitsoq 564 млн. лет, Sarfartoq, около 600 млн. лет и др.). Кимберлитовые проявления сопровождаются развитием даек, силлов и покровов ультраосновных лампрофиров (ULM), иногда содержащих микроалмазы.

Кимберлиты Каави-Куопио имеют возраст 589–626 млн. лет (U-Pb определения по перовскиту; O'Brien, Tunj, 1999; 12], а для кимберлитов Куусамо аналогичным методом установлен возраст 759 ± 15 и 757 ± 2 млн. лет [11]. Алмазоносность кимберлитов Каави-Куопио не достигает промышленного уровня (только в нескольких трубках установлены содержания до 0,14-0,41 карат/т), подавляющая часть кристаллов сильно резорбирована и доля камней ювелирного качества невелика [16]. В отдельных телах кимберлитов Куусамо установлены микроалмазы [11].

В пределах российской части ВЕК кимберлиты этого возраста не установлены. Однако в Архангельской алмазонасной провинции (ААП), на Зимнем Берегу [7] и в Юго-Восточном Беломорье известны проявления ультраосновных лампрофиров (туфы, туффиты, маломощные покровы и жилы), приуроченные к поздневендским отложениям. Эти лампрофиры, вероятно, представляют восточное продолжение обширной неопротерозойской провинции щелочного и щелочно-ультраосновного магматизма, охватывающей север Канады и Скандинавии, и включающей упомянутые выше кимберлитовые проявления. В таком случае территория ААП может быть перспективна на обнаружение вендских кимберлитов.

Кроме того, нельзя исключать возможности обнаружения неопротерозойских кимберлитовых проявлений в связи с щелочно-ультраосновным магматизмом Западного склона Среднего Урала, где для щелочных пикритов кусьинского, шпалорезовского, благодатского и др. комплексов предполагается глубинный мантийный источник, возможно алмазной фации [3, 5].

Мезопротерозойские лампроиты и кимберлиты были сформированы в северной части ВЕК в среднем рифее, около 1235 млн. лет назад, когда внедрились многочисленные дайки и трубки алмазонасных лампроитов, кимберлитов и ультраосновных лампрофиров (айлликитов) в области Костомукша-Кухмо-Лентиира в западной части Карельского кратона. Лампроиты Костомукшского проявления имеют возраст 1230 ± 5 млн. лет, (Rb-Sr метод, [1]), а для пространственно сближенных с ними лампроитов Кухмо-Лентиеры возраст отдельных даек оценивается в 1250 млн. лет (U-Pb метод по перовскиту; [12]).

В близком временном интервале сформировано Черкасское проявление в южном архейском блоке на Украинском щите. Для псевдолейцитовых лампроитов Черкасского проявления проведенное нами [4] изучение изотопного состава породы позволило приблизительно ограничить ее возраст интервалом 1100–1200 млн. лет (благодаря высокому отношению $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ в породе, равному 4.32).

Мезопротерозойский этап, для которого в Мире известны высокопродуктивные кимберлиты (Премьер), коррелируется с распадом суперконтинента Колумбия около 1200 млн. лет назад, когда рифтогенные процессы охватили и территорию ВЕК. В раннем мезопротерозое, когда Балтика входила в состав этого суперконтинента, составляющие ее континентальные домены находились в восточной (в современных координатах) части Колумбии и представляли единое целое с блоками Лаврентии, Амазонии, и, возможно, Сибири ([14, 2]. В начале среднего мезопротерозоя на крайнем западе ВЕК начинают проявляться события рифтогенного типа – развитие грабенов, формирование дайковых роев [9]; максимум рифтогенеза приходится на поздний мезопротерозой (1270-1230 млн. лет) и его связывают с воздействием крупного плюма [10].

Наиболее ранние проявления кимберлитового магматизма ВЕК датируются *средним палеопротерозоем* (около 2000 млн. лет); они представлены Кимозерским проявлением алмазонасных кимберлитов. Палеопротерозойские проявления лампроитов известны также в южной части ВЕК, в Кировоградском блоке Украинского щита. Дайки лампроитов Кировоградского проявления были датированы возрастом 1770 ± 9.4 млн. лет (по валовой пробе и флогопиту основной массы породы, [8]).

Кимберлиты Кимозера, наиболее вероятно, формировались 1986 ± 4 млн. лет назад (U-Pb датировка методом TIMS мантийных цирконов из кимберлитов, [6]. Кимберлиты содержат кристаллы и обломки кристаллов алмазов крупнее 1мм [17], но промышленная значимость проявления Кимозера пока не ясна.

Внедрение кимберлитов происходило в обстановке формирования пассивной окраины и предшествовало раскрытию Свекофенского океанического бассейна, связанного с распадом суперконтинента Кенории. Вероятно, оно было синхронно становлению крупной трапповой провинции, представленной покровами, силами и дайками базитов Онежской структуры, Печенги и их аналогов [15].

Таким образом, представляется, что формирование всех известных докембрийских кимберлитов ВЕК синхронно процессам распада суперконтинентов. Это отличает их от палеозойского кимберлитового магматизма ВЕК, который проявился в девоне, в период активных орогенических процессов в обрамляющих кратон мобильных поясах. Эти процессы привели к объединению Балтики и Лаврентии, образовали континент Лавразию около 0.4 млрд. лет назад, и, в конечном итоге, сформировали суперконтинент Пангею.

Сравнительная характеристика докембрийских и девонских кимберлитов ВЕК. Геологический характер докембрийских кимберлитовых проявлений весьма схож: типичны дайковые тела и небольшие диатремы (до 1,0 -1,5 га) вытянутой формы. В фаціальном отношении преобладают гипабиссальные (порфиновые) кимберлиты и кимберлитовые брекчии; небольшое число неопротерозойских диатрем выполнены автолитовыми кимберлитовыми брекчиями (Каави-Куопио) и автолитовыми кимберлитами (Куусамо). Отмеченные особенности отражают глубокий эрозионный срез, который вскрывает преимущественно прикорневые части кимберлитовых построек. Кратерные фации, в том числе переотложенные кимберлитовые туффиты, сохранились в Кимозерском проявлении благодаря локальным особенностям тектонической структуры. В этом отношении докембрийские кимберлиты ВЕК значительно отличаются от фанерозойских Архангельской провинции, где эрозионным срезом вскрыты преимущественно диатремовые и часто кратерные фации.

Существенны различия кимберлитов по составу макрокристов и минералов-спутников. Для неопротерозойских кимберлитов их набор аналогичен типичному для фанерозойских разновидностей: пиропы, в том числе G10 типа, Mg-ильмениты, Cr-диопсиды, Cr-шпинелиды, однако в них практически отсутствуют макрокристы флогопита [11]. Для палеопротерозойских кимберлитов (Кимозеро) характерны прежде всего флогопиты, Cr-шпинелиды и муассониты, в меньшей степени Cr-диопсиды, рутилы, редко пиропы.

Поскольку ассоциация ксенокристов в кимберлитах определяется характером мантийного метасоматоза - составом и температурой астеносферных расплавов, генерируемых плюмом, и особенностями строения и состава литосферной мантии, с которой они взаимодействуют, то различия в их составе могут отражать изменение стиля мантийного метасоматоза при переходе от раннего докембрия к позднему докембрию и фанерозою. Наиболее ранние кимберлитовые расплавы, сформировавшие проявление Кимозеро, происходили из более высокотемпературной раннедокембрийской астеносферной мантии и взаимодействовали с со сравнительно «примитивной» литосферой, сформированной к концу архея и претерпевшей к моменту внедрения кимберлитов лишь один эпизод андерплейтинга около 2,5 млрд. лет назад. Поэтому особенности ксенокристов из наиболее древних кимберлитов Кимозера могут быть связаны со спецификой стиля мантийного метасоматоза в раннем докембрии и состава «досекофенской» литосферы.

Особенности петрохимического состава позволяют отнести неопротерозойские кимберлиты к умеренно- и высокотитанистому типам, тогда как раннедокембрийские метакимберлиты характеризуются пониженными содержаниями титана. Геохимические характеристики неопротерозойских кимберлитов Каави-Куопио и Куусамо в общем сопоставимы с таковыми кимберлитов группы I Южной Африки, но несколько различаются между собой, в частности значительно более высоким Nb/Zr отношением в первых [13; 11]. Заметим, что аналогичные различия наблюдаются и между кимберлитами Золотицкого и Кепинского полей Архангельской провинции.

Геохимия палеопротерозойских метакимберлитов соответствует их низкотитанистому составу – они обеднены высокозарядными элементами и тяжелыми РЗЭ. В целом их геохимические особенности сопоставимы с высокоалмазонасными кимберлитами трубки им. Гриба Архангельской провинции и трубками Накынского поля Якутской провинции.

Sr-Nd изотопные характеристики неопротерозойских кимберлитов сходны с кимберлитами группы I по изотопному составу Sr, но значительно отличаются менее радиогенным составом Nd ($\epsilon\text{Nd}(T)$ около -1 ...+3; [13]). Изотопные параметры палеопротерозойских метакимберлитов Кимозера соответствуют величинам $\epsilon\text{Nd}(T)$ в пределах от 0 до -1 при низкорadiогенном изотопном составе Sr, который характеризуется величинами $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в пределах 0,701-0,703 [6]. Таким образом, имеет место определенное сходство Sr-Nd изотопных параметров докембрийских кимберлитов. В тоже время они отличаются от кимберлитов ААП как золотицкого типа, для которых эти параметры отвечают значениям, «переходным» между кимберлитами I и II групп, так и кепинского типа, близких к кимберлитам группы I. Мезопротерозойские лампроиты имеют такой же низкорadiогенный изотопный состав Sr как и докембрийские кимберлиты, но характеризуются значительными отрицательными величинами ϵNd (-8...-9; [13]).

Наблюдаемые различия докембрийских и фанерозойских кимберлитов севера ВЕК отражают эволюцию характера мантийных источников и особенностей литосферной контаминации ким-

берлитов, многократно внедрявшихся в пределах небольшого Карельского кратона на протяжении около 1.5 млрд. лет. Последовательность рифтогенных и орогенных событий (свекофенских, гренвилльских, кадомских) на протяжении 2 млрд. лет приводила к трансформации состава литосферной мантии Карельского кратона; соответственно кимберлитовые расплавы более позднего возраста в краевой части кратона взаимодействовали с мантийной литосферой более сложной по составу и строению. Кроме того, можно полагать, что специфику раннедокембрийского кимберлитового мантийного метасоматоза определял также вклад в плюмовые расплавы архейской субдуцированной коры, ультрадеплетированной по сравнению с позднедокембрийскими и фанерозойскими слэбами.

Минерагенические перспективы. Докембрийские кимберлиты ВЕК являются алмазоносными, однако промышленно-алмазоносные разности среди них пока не установлены. Минерагенические перспективы докембрийских источников алмазов российской части севера ВЕП могут быть связаны: 1) с раннедокембрийскими проявлениями метакимберлитов типа Кимозеро 2) с обнаружением неопротерозойских кимберлитовых тел – возрастных аналогов объектов, известных в Восточной Финляндии, Западной Гренландии, Квебеке, и 3) с поисками древних некимберлитовых проявлений алмазов в вулканокластических ультрабазитовых (коматиитовых) породах (проявления типа Вава, Дачин).

Исследования поддержаны Программой ОНЗ РАН № 2 и грантом РФФИ № 08-05-00904.

Литература

1. *Беляцкий Б.В., Никитина Л.П., Савва Е.В. и др.* Изотопные характеристики лампроитовых даек восточной части Балтийского щита // *Геохимия*, 1997, № 6, с. 658-662.
2. *Богданова С.В.* Восточно-Европейский кратон: от палеопротерозойской Нуны (“Nuna”) к мезопротерозойской Родинии (“Rodinia”) / *Фундаментальные проблемы геотектоники*. Т.1. М.:Геос. 2007. С. 88-91.
3. *Зильберман А.М., Морозов Г.Г., Корелин Г.П.* Магматические комплексы пермской серии листов // *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении*. Пермь: Пермский госуниверситет, 2002, с. 124-146.
4. *Кононова В.А., Носова А.А., Первов В.А., Кондрашов И.А.* Вариации составов кимберлитов Восточно-Европейской платформы как отражение сублитосферных геодинамических процессов // *Докл. АН*. 2006. Т. 409. № 5. С. 662-667.
5. *Петров Г.А., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л.* Допалеозойские магматические комплексы Кваркушко-Камменногорского антиклинория (Средний Урал): новые данные по геохимии и геодинамике // *Литосфера*, 2005, №4. С.42-69.
6. *Самсонов А.В., Ларионова Ю.О., Сальникова Е.Б. и др.* Изотопная геохимия и геохронология палеопротерозойских метакимберлитов Кимозерского проявления (Центральная Карелия). Мат-лы IV Росс. конф. изотоп. геохронол. СПб. 2009. С.158-161.
7. *Щукин В.С., Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Белоусова Е.А., Гриффин В.Л.* Поздне вендский ареальный щелочной вулканизм рифтогенного типа в Зимнебережном кимберлитовом районе (Архангельская алмазоносная провинция) // *Глубинный магматизм и проблемы плюмов*. М.:Наука, 2002. С. 151-165.
8. *Юткина Е.В., Кононова В.А., Цымбал С.Н. и др.* Изотопно-геохимическая специализация мантийного источника кимберлитов кировоградского комплекса (Украинский щит) // *Докл. АН*, 2005, т. 402, №1. С. 87-91.
9. *Connelly J., Ahall K.-I.* Intermittent 1.53-1.13Ga magmatism in western Baltica; age constraints and correlations within a postulated supercontinent // *Precamb. Res.*, 1998. V. 92, P. 1-20.
10. *Elming S.A., Mattsson H.* Post Jotnian basic Intrusions in the Fennoscandian Shield, and the break up of Baltica from Laurentia: a palaeomagnetic and AMS study // *PRECAMBRIAN RES* 2001. V. 108: (3-4) P. 215-236
11. *O'Brien H., Bradley J.* New kimberlite discoveries in Kuusamo, northern Finland. Extended Abstract 9th IGC. 2008. A-00346.
12. *O'Brien H., Lehtonen M., Spencer R., Birnie A.* Lithospheric mantle in Eastern Finland: a 250 km 3D Transect // 8th International Kimberlite Conference Long Abstract. 2003. P. 1-4
13. *O'Brien H.E., Tyni M.* Mineralogy and geochemistry of kimberlites and related rocks from Finland // *In: Proc. 7th Int. Kimberlite Conf.* 1999. V. 2. P. 625-636
14. *Pesonen L.J., Elming S.-A., Mertanen S., Pisarevsky S., D'Agrella-Filho M.S., Meert J.G., Schmidt P.W., Abrahamsen N., Bylund G.* Palaeomagnetic configuration of continents during the Proterozoic // *Tectonophysics* 375 (2003) 289– 324.

15. Puchtel I.S., Arndt N.T., Hofmann A.W., Haase K.M., Kroner A., Kulikov V.S., Kulikova V.V., Garbe-Schonberg C.-D., Nemchin A.A. Petrology of mafic lavas within the Onega plateau, central Karelia: evidence for 2.0 Ga plumerelated continental crustal growth in the Baltic Shield, *Contrib. Mineral. Petrol.* 130 (1998) 134–153.

16. Tyni M. Diamond prospecting in Finland – a review. In: Papunen H. (edit.), *Mineral deposits: Research and Exploration, Where do They Meet?* Proceedings of the 4th SGA Meeting, 1997, P. 789-791.

17. Ushkov, V.V.; Ustinov, V.N.; Smith, C.B.; Bulanova, G.P.; Lukyanova, L.I.; Wiggers de Vries, D.; Pearson, D.G. Kimozero, Karelia; a diamondiferous Palaeoproterozoic metamorphosed volcanoclastic kimberlite / 9IKC-A-00199.

Геодинамические обстановки образования, трансформации и минерогения Уфалейского докембрийского амфиболит-гнейсового комплекса (Средний Урал)

Огородников В.Н.¹, Сазонов В.Н.¹, Поленов Ю.А.²

¹Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: Sazonov@igg.uran.ru

²Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

Из геологических и радиологических данных [1, 3, 5, 7, 9 и другие], материалов авторов и других исследователей следует, что в пределах Уфалейского амфиболит-гнейсового комплекса (рис.) проявились несколько этапов структурно-тектонических и метаморфических преобразований, каждый из которых сопровождался формированием вполне определенных магматических комплексов, которые в постмагматическую стадию продуцировали карбонатиты, пегматиты, разноформационные метасоматиты, кварц-жильные образования и др. (табл.).

Возрастной интервал 1,35 – 0,98 млрд. лет отвечает среднерифейскому возрасту рифтогенного преобразования блока фундамента Восточно-Европейской платформы. Минерогенические особенности среднерифейских рифтогенных структур, разделяющих архейско-нижнепротерозойские глыбы-блоки (Тараташский, Александровский, Уфалейский, Сысертско-Ильменогорский) предопределяются образованием офиолитовых ассоциаций в виде разобщенных тектонизированных фрагментов и представленных сайтовским комплексом Сысертско-Ильменогорского блока, куштумгинским, куртинским и максютовским комплексами зоны Урал-Тау [4,8], породы которых вмещают ряд рудных и нерудных полезных ископаемых.

На этом этапе отмечается более интенсивная магматическая деятельность, формируется ряд крупных интрузий ультраосновного-основного состава. Они представлены стратифицированными массивами пироксенит-габбрового состава кусинско-копанского комплекса, а в районе Уфалейского блока - куртинским пироксенит-габбровым комплексом. Становление массивов сопровождается титаномагнетитово-ильменитовым оруденением.

Метаморфизм при диасхизисе связан с подъемом под большим давлением разуплотненного вещества глубоких зон мантии, внедрением и возникновением межлитосферной термальной аномалии, вызывающей высокотемпературные метаморфические преобразования комплексов кристаллического фундамента континентальной коры и верхней мантии.

Среднерифейский рифтогенный метаморфизм, соответствующий гранулитам алданской фации глубинности (парагенезисы, включающие гиперстен, диопсид, пироповый гранат), завершился процессами ультраметаморфизма [3] с образованием слюдяногорских щелочных биотитовых гнейсо-гранитов, калиевых гранитов (возраст по микроклину, биотиту 1100-1215 млн лет [7]; по цирконам из гнейсов 990-1180 млн лет [5]; различных мигматитов и анортоклазовых пегматитов с редкоземельной минерализацией, представленной иттриопидотом, с возрастом 1100-1200 млн лет [6]. На гидротермальной постмагматической стадии образуются крупно-кристаллические кальцитовые метасоматиты, не содержащие собственных редкоземельных минералов, но концентрирующих редкоземельные элементы в кальците 0,15-0,29 % TR₂O₃, в т.ч. 0,02-0,05 % Y, редкоземельные элементы преимущественно иттриевого состава, тогда как во вмещающих амфибол-биотитовых гнейсах сумма РЗЭ составляет 0,003-0,04%, в т.ч. 0,008-0,009 % Y, а в анортоклазовых пегматитах 0,001 % TR₂O₃, в т.ч. 0,0005 % Y.