

и продуктивных рудных ассоциаций, свидетельствующий о полноте и завершенности металлогенического процесса на каждом из определенных этапов эндогенеза.

Особенности БЗП во многом уникальны, но вместе с тем вполне отвечают признакам докембрийских геологических обстановок, благоприятных для благороднометалльного рудогенеза. Его территория оценивается как весьма перспективная для целенаправленных работ по выявлению объектов комплексного Au-ЭПГ крупнообъемного оруденения.

Литература

1. Ахмедов А.М., Шевченко С.С., Симонов О.Н., Стехин А.И. и др. Новые типы проявлений комплексной благороднометалльной минерализации в зеленокаменных поясах архея Карело-Кольского региона. // Геология и геодинамика архея // Материалы I Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия 27 – 29 сентября 2005 г. СПб.: «Центр информационной культуры», 2005. С. 34–38.
2. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометалльные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 735 с.
3. Ефимов А.А. Проблема третьего слоя современных и древних океанов // Литосфера, 2002, № 2, с. 38–53.
4. Кориковский С. П. Фации метаморфизма метapelитов. М., Наука, 1979. 263 с.
5. Ручьев А. М. О протолите северокарельских гнейсов чупинской свиты беломорского комплекса) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 2. Петрозаводск, 2000. С. 33–54.
6. Слабунов А.И., Степанова А.В., Степанов В.С., Бабарина И.И. Серякский мезоархейский прото-офиолитовый комплекс Центрально-Беломорского зеленокаменного пояса // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерагения // Материалы научной конференции и путеводитель экскурсии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 19–25.
7. Тейлор С.З., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., 1988. 384 с.

Коллизионные швы в раннедокембрийской коре как фактор локализации алмазоносных кимберлитов (на примере севера Восточно-Европейского кратона)

Самсонов А.В.¹, Носова А. А.¹, Ларченко В.А.², Третьяченко В.В.³, Ларионова Ю.О.^{1,4}

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

² «АЛРОСА-Поморье» АК «АЛРОСА», г. Архангельск

³ ЯНИГП ЦНИГРИ, г. Архангельск

⁴ МГУ, г. Москва

Одним из ключевых направлений в геологии алмазоносных кимберлитов является раскрытие закономерностей их размещения в структурах раннедокембрийской коры. По опыту многолетних исследований, алмазоносные кимберлиты тяготеют к наиболее древним архейским блокам коры, в которых не проявлены постархейские процессы плюмового магматизма, рифтогенеза и коллизии – то есть масштабной эндогенной активности, разрушавшей древние литосферные корни и содержащиеся в них алмазы [1, 2]. Эта гипотеза сохранной архейской литосферы, известная как «правило Клиффорда» или «правило архонов», до сих пор служит главным прогнозно-поисковым критерием для алмазоносных кимберлитов [3], а также является основой при обсуждении фундаментальных проблем происхождения источников этих пород [4]. Так, взаимосвязь кимберлитов с участками архейской коры хорошо согласуется с результатами многолетних исследований, согласно которым алмазы в кимберлитах являются ксенокристами, вынесенными из литосферной мантии с глубин не менее 150 км. Предполагается, что этот глубинный мантийный источник алмазов был сформирован в архее и не претерпел тектономагматической переработки и термальных воздействий до фанерозойского времени, о чем свидетельствуют геохронологические исследования минералов-узников в алмазах.

Однако в последние годы накопились факты, противоречащие «правилу архонов». Ярким примером этому служит Южно-Африканский кратон – колыбель геологии кимберлитов и полигон для разработки «правила Клиффорда» [1]. Во-первых, здесь фиксируются многочисленные

(с палеопротерозоя до фанерозоя) этапы внутриплитной магматической активности, которые предшествовали внедрению алмазоносных кимберлитов [5] и должны были бы уничтожить алмазоносные литосферные корни [2]. И во-вторых, в Южно-Африканском кратоне промышленно алмазоносные кимберлиты трубок Венишиа и Ренд-Ривер локализованы в сравнительно молодой структуре этого кратона – палеопротерозойском мобильном поясе Лимпопо [6]. Близкая ситуация устанавливается для Балтийского щита, где вендские и ордовикские кимберлиты располагаются не внутри архонов, а локализованы в палеопротерозойских коллизионных швах [7]. Случайна ли наблюдаемая приуроченность алмазоносных кимберлитов к палеопротерозойским коллизионным швам, или же это отражает некую закономерность, которая является дополнением или альтернативой «правилу архонов»?

Разработку этого очень важного для науки и практики вопроса мы начали на примере севера Восточно-Европейской платформы (ВЕР). Здесь на сегодня известны четыре возрастные группы алмазоносных кимберлитов [7]: (1) палеопротерозойские (~1.76 млрд. лет) кимберлиты центральной Карелии; (2) вендские (589–626 млн. лет) кимберлиты восточной Финляндии; (3) ордовикские (457–465 млн. лет) кимберлиты Терского Берега; (4) девонские (367–380 млн. лет) кимберлиты Зимнего Берега Архангельской алмазоносной провинции (ААП). Для кимберлитов первых трех групп, локализованных в пределах Балтийского щита, анализ детально изученных вмещающих раннедокембрийских комплексов указывает на многочисленные противоречия с «правилом архонов». При этом вендские и ордовикские кимберлиты демонстрируют отчетливую приуроченность к региональным палеопротерозойским коллизионным структурам, которые в первом случае маркируют сочленение архейской и палеопротерозойской континентальных масс в восточной Финляндии [7], а во втором – сочленение двух архейских блоков на Терском Берегу [8]. В отличие от этих проявлений кимберлитового магматизма, для самой крупной и представительной Архангельской алмазоносной провинции представления о строении, составе и возрасте раннедокембрийского кристаллического фундамента, погребенного под платформенным чехлом, противоречивы. С одной стороны, уже длительное время предполагается архейский возраст кристаллического фундамента этой провинции, который выделяется как восточное продолжение Беломорского блока Балтийского щита, или как самостоятельный Кулойский гранулитогнейсовый блок [9, 10]. С другой стороны, накопленные за последние годы данные дают основания утверждать, что алмазоносные кимберлиты ААП приурочены к мощной глубинной зоне распространения палеопротерозойских пород, которая может представлять собой палеопротерозойский коллизионный шов крупных архейских блоков. Аргументами в пользу этого положения являются геофизические данные, результаты геохимических, изотопных и геохронологических исследований пород кристаллического фундамента ААП, коровых ксенолитов и цирконов, вынесенных кимберлитами этой провинции, а также изотопно-геохимические характеристики собственно кимберлитов.

По **геофизическим данным** в кристаллическом фундаменте ААП выделяется резко градиентная линейная зона положительных магнитных и плотностных аномалий, в пределах которой сосредоточены все алмазоносные кимберлиты Зимнебережного района. Эта Зимнебережная зона, разделяющая блоки с разным рисунком магнитного поля, располагается на продолжении крупного палеопротерозойского Лапландско-Кольского орогена – коллизионной зоны Беломорского и Центрально-Кольского архейских террейнов [8] и, как и последняя, также, вероятно, является крупным палеопротерозойским коллизионным швом.

Исследования пород фундамента по керну глубоких скважин показывают, что в составе Зимнебережной зоны представлены известково-щелочные и субщелочные метагабброиды, кварцевые диориты, гранодиориты и граниты с геохимическими характеристиками, типичными для постколлизионных обстановок: повышенные концентрации P_2O_5 , TiO_2 , Zr, Rb, Sr, Ba и легких РЗЭ. Эти разные по составам и, вероятно, по источникам, магматические породы (от габбро до гранита) имеют близкие величины Sm-Nd модельных возрастов (T_{DM} = от 2.01 до 2.19 млрд. лет), что говорит нам о ювенильном характере коры этой зоны, которая не имела архейской предыстории, а сформировалась в ходе палеопротерозойского континентального цикла. Время коллизионного завершения этого цикла по Rb-Sr и Sm-Nd изотопным данным оценивается в интервале 1.80 - 1.88 млрд. лет, что по времени отвечает пику свекофенского орогенеза, детального изученного в Ю-З части

Балтийского щита [11]. И напротив, по сравнению с палеопротерозойскими орогенными комплексами Зимнебережной зоны, породы ее южного обрамления по составу, степени метаморфизма, изотопным и возрастным характеристикам являются аналогами архейских комплексов Беломорского террейна.

Изучение коровых ксенолитов из алмазоносных кимберлитов трубки 688 [12] и трубки им. В.Гриба (результаты наших исследований) показывает, что на средних и нижних уровнях коры Зимнебережной зоны широко представлены палеопротерозойские магматические комплексы. Ксенолиты, характеризующие среднюю кору (Р около 5 кбар), по геохимическим особенностям отвечают внутриплитным высоко-магнезиальным базальтам раннего палеопротерозоя (2.45 млрд. лет). Основание коры (Р 10-14 кбар) было сложено ювенильным палеопротерозойским метаматическим материалом (T_{DM} = от 2.00 до 2.40 млрд. лет) с островодужными геохимическими характеристиками: толеитовыми и известково-щелочными базальтами и адакитами.

Результаты U-Pb изотопного датирования захваченных цирконов, выделенных из порфирового кимберлита трубки им. В.Гриба, показывают, что из 36 изученных зерен только 2 имеют архейские возраста, в то время как основной объем возрастных определений концентрируется в интервале времени 1.8-2.0 млрд. лет [13]. Эти данные, отражающие возраст пород рамы на пути миграции кимберлитовых магм, дают дополнительную независимую информацию о формировании коры Зимнебережной зоны в палеопротерозое, вероятно, в ходе свекофенских островодужных тектоно-магматических событий.

Sm-Nd изотопные данные по кимберлитам, которые, вероятно, отражают как характеристики мантийного источника этих пород, так и их коровой контаминанты, также дают косвенные свидетельства в пользу гетерогенности кристаллического фундамента ААП и возможной взаимосвязи алмазоносности кимберлитов с составом и возрастом подстилающей раннедокембрийской коры. Относительно более молодой, вероятно, палеопротерозойский возраст коры, вмещающей собственно алмазоносные кимберлиты Верхотинского, Кепинского и Золотицкого полей Зимнего Берега, подчеркивается Sm-Nd изотопно-геохимическими данными по этим кимберлитам (ϵNd_{380} от -4 до $+3$). И напротив, для неалмазоносных кимберлитовых силлов Мела, щелочных пикритов Ижмозерского поля и мелилититов Неноксы, расположенных севернее и южнее Зимнебережной зоны, величины ϵNd_{380} варьируют в интервале от -5 до -10 [14], что может указывать на более древний, вероятно архейский, возраст вмещающих их коровых пород.

Таким образом, данные по кимберлитам ААП являются примером очевидного противоречия с «правилом архонов» и служат основой для предлагаемой альтернативной гипотезы локализации алмазоносных кимберлитов в палеопротерозойских коллизионных швах. Здесь важно подчеркнуть, что рассматриваемые данные получены по району распространения промышленно алмазоносных кимберлитов, что увеличивает доказательность приводимых аргументов и позволяет предположить, что приуроченность алмазоносных кимберлитов к палеопротерозойским коллизионным швам не случайность, а закономерность, которая является дополнением или альтернативой «правилу архонов». Для уверенного обоснования последнего предположения на сегодня слишком мало доказательных примеров, редкость которых, возможно, отражает уровень изученности проблемы. Действительно, примеры локализации алмазоносных кимберлитов в палеопротерозойских шовных зонах получены исключительно для щитов, где раннедокембрийская кора детально изучена. Для кимберлитовых провинций, локализованных в плитных участках древних платформ, где раннедокембрийский фундамент перекрыт мощным платформенным чехлом, гораздо меньше данных о возрасте и тектоническом типе древних структур. Однако и здесь есть основания предполагать сопряженность алмазоносных кимберлитов с раннедокембрийскими коллизионными швами, поскольку известно, что локализация кимберлитов контролируется крупными разрывными структурами. И хотя заложение этих структур происходило в позднем докембрии или фанерозое, их положение в большинстве случаев наследует положение палеопротерозойских швов, по которым блоки примитивной литосферы объединялись в первые крупные континентальные массы и которые на протяжении всей последующей истории были «слабыми местами» и чутко реагировали на динамические процессы в подстилающей астеносфере [15].

Литература

1. Clifford T.N. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa // *Earth and Planetary Sci. Lett.* 1966. P. 421–434.
2. Helmstaedt H.H., Gurney J.J. Geotectonic controls of primary diamond deposits: implications for area selection // *J. Geochem. Explor.* 1995. P. 125–144.
3. Janse A.J.A., Sheahan P.A. Catalogue of world wide diamond and kimberlite occurrences: a selective and annotative approach // *J. Geochem. Explor.* 1995. P. 73–111.
4. Stachel T., Brey G.P., Harris J.W. Inclusions in sublithospheric diamonds: Glimpses of deep Earth // *Elements*. 2005. P. 73–78.
5. Cawthorn R. G. Kaapvaal Craton, South Africa: Repeated Basic Magmatism, Diamonds and Plumes // AGU Chapman Conference. The Great Plume Debate: The Origin and Impact of LIPS and Hot Spots. Fort William, UK. 28 August – 1 September 2005. Abstracts.
6. Deines P., Viljoen F., Harris J. W. Implications of the carbon isotope and mineral inclusion record for the formation of diamonds in the mantle underlying a mobile belt: Venetia, South Africa // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001. V. 65. No. 5. P. 813–838.
7. O'Brien H.E., Tuni M. Mineralogy and geochemistry of kimberlites and related rocks from Finland // *Proc. 7th Int. Kimberlite Conf.* 1999. V. 2. P. 625–636.
8. Daly J.S., Balagansky V.V., Timmerman M.J. et al. Ion microprobe U–Pb zircon geochronology and isotopic evidence for a trans-crustal suture in the Lapland–Kola Orogen, northern Fennoscandian Shield // *Precambrian Research*. 2001. P. 289–314.
9. Крестин Е.М., Быкова Т.А., Минкина Н.Б. Тектоническое районирование и межрегиональная корреляция докембрия центральных и восточных районов Восточно-Европейской платформы // *Геология и геохронология докембрия Восточно-Европейской платформы*. Л.: Наука. 1990. С. 176–186
10. White S.H., de Boorder H., Smith C.B. Structural controls of kimberlite and lamproite emplacement // *J. Geochem. Explor.* 1995. P. 245–264.
11. Claesson S., Bogdanova S.V., Bibikova E.V., Gorbatshev R. Isotopic evidence for paleoproterozoic accretion in the basement of the East European Craton // *Tectonophysics*. 2001. V. 339. P. 1–18.
12. Markwick A.J.W., Downes H. Lower crustal granulite xenoliths from the Arkhangelsk kimberlite pipes: petrological, geochemical and geophysical results // *Lithos*. 2000. P. 135–151.
13. Lepikhina E., Presnyakov S., Mutukov D. et al. Single grain U–Pb zircon dating (Shrimp II) from Grib kimberlite pipe (Zimny Bereg, Arkhangelsk region, Russia) // *Abstract Volume, 32nd IGC, Florence, 2004*.
14. 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.
15. Krabbendam M., Barr T.D. Proterozoic orogens and the break-up of Gondwana: why did some orogens not rift? // *Jorn. African Earth Sci.*. 2000. V. 31. P. 36–49.

Геодинамические обстановки при формировании тектоно-магматического каркаса Фенноскандинавского щита

Светов А.П., Свириденко Л.П.

Институт геологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, e-mail:sv@krc.karelia.ru

Тектоно-магматический каркас (ТМК) является суперструктурой Фенноскандинавского щита (см. рис.). Он представляет собою геисторическую систему сопряженных разноглубинных разломов, линейных прогибов, поднятий, замкнутых депрессий. Его главными элементами являются геоблоки с автономными особенностями разновозрастных структурно-вещественных протоплатформенных чехлов, отражающих их геотектоническое и тектоно-магматическое развитие. История формирования ТМК Фенноскандинавского щита – это последовательное наращивание земной коры континентального типа на протокору.

На первичное формирование докембрийской континентальной земной коры воздействуют два главных выделенных авторами геотектонически режима: платобазальтовый и режим региональной гранитизации (Светов, Свириденко, 2005). Энергетическим источником для того и другого является