

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НЕКОТОРЫЕ РЕШЕНИЯ ДОКЕМБРИЙСКОЙ ГЕОЛОГИИ КРАТОНОВ

**Ф.П. Митрофанов**

*Геологический институт Кольского научного центра РАН*

*184200, Апатиты, Мурманская обл., ул. Ферсмана, 14*

*E-mail: felix@geoksc.apatity.ru*

*Поступила в редакцию 27 августа 2001 г.*

В статье приводится аналитический обзор современного состояния важнейших проблем раннедокембрийской геологии кратонов, базирующийся на результатах последних исследований международных коллективов и личном опыте автора. Обсуждаются: проблемы геохронологии, в особенности наиболее древние земные датировки; состав протокры и современных комплексов основания кристаллических щитов; пространственные и временные взаимоотношения чарнокит-гранулитовых и мигматит-гнейсовых доменов; изменения состава континентальной земной коры во времени в связи с глубинными явлениями, в том числе в результате плюмовых процессов. Особое внимание обращается на время консолидации («зрелости») континентальной земной коры и состав ее протолитов как показателей алмазоносности кратонов. В порядке обсуждения выделяются некоторые особенности лавразийской и гондванской групп кратонов, влияющих, по мнению автора, на их глобальную металлогению.

## MODERN PROBLEMS AND SOME SOLUTIONS OF PRICAMBRIAN GEOLOGY OF CRATONS

**F.P. Mitrofanov**

*Geological Institute, Kola Science Centre Russian Academy of Sciences*

The review presents an analysis of current problems of Early Precambrian craton geology. The content is based on recent investigation results of the international collectives and scientific author's experience. The following problems are discussed: geochronology, particularly, the most ancient earth dating; composition of protocrust and contemporary basement complexes in crystalline shields; space-time relationships of charnockite-granulite and migmatite-gneiss domains; transformations of continental earth crust composition in the time relating to the deep secondary events including plume processes. Particular attention has been given to consolidation (maturity) epochs of continental crust and to composition of protoliths as indicators of diamond perspectives in cratons. For discussion, some peculiarities of the Laurasia and Gondwanaland craton groups have been distinguished. It is the author's opinion that they influence on global craton metallogeny.

Когда мне было предложено написать обзор по геологии раннего докембрия для нового журнала «Литосфера», довольно быстро понял, что в рамках статьи я смогу изложить лишь некоторые проблемные вопросы по состоянию их на 2001 год, в том числе особенно интересные, как мне представляется, для российских докембрийских регионов и специалистов, их изучающих. Исследование геологии кристал-

лических щитов путем их систематического картирования и глубинного геофизического и бурового изучения завершилось, в основном, в 80-ые годы. Результатам этих исследований в бывшем Союзе посвящены крупные публикации выдающихся геологов-докембристов: А.А.Полканова, К.О.Кратца, К.А.Шуркина, В.Л.Дука, Л.И.Салопы, Н.П.Семененко, Е.Е.Лазько, Л.Я.Харитонova, А.И.Тугаринова,

М.С.Маркова, Н.А.Штрейса и многих других. В недавние годы были опубликованы обзорные книги – «Докембрийская геология СССР» (Рундквист, Митрофанов, 1988) и «Докембрийские рудные месторождения Восточно-Европейского и Сибирского кратонов» (Rundqvist, Gillen, 1997), а также исключительно интересные научные и учебные обобщения по докембрию Мира коллектива авторов МГУ под руководством В.Е.Хаина (Хайн и др., 1997). Мне даже кратко не удастся перечислить и все последние крупнейшие зарубежные публикации по докембрию кратонов Мира, в которых особенное внимание сейчас обращается на геохронологию и геодинамику древнейших земных процессов.

На Международном геологическом конгрессе в Бразилии в 2000 году углубленные исследования раннедокембрийских, особенно архейских, образований признаны одной из приоритетных задач современных наук о Земле, поскольку познание природы древнейших процессов имеет не только земное, но и сравнительное планетопознавательное значение. Древние породы и минералы являются единственными свидетелями природы и происхождения литосферы, гидросферы и атмосферы, а также биосферы.

С позиций геоисторического и металлогенического анализа сейчас предпочтительно обсуждать проблемы раннего докембрия (архей+палеопротерозой=дорифей с верхней границей  $1600 \pm 50$  млн лет) не только кристаллических щитов, но и фундаментов древних плит, то есть в нашей терминологии «древних платформ», или «кратонов» мировой литературы. По погруженным структурам кратонов в настоящее время имеется хотя и небольшое, но достаточно значимое количество данных. Для российской территории такие геофизические и керновые материалы ранее были суммированы в опубликованной ИГГД АН СССР «Тектонической карте фундамента территории СССР» (Наливкин, 1974) и в объяснительной записке к ней, а в настоящее время они активно дополняются, интерпретируются и обсуждаются в действующих российских и международных программах типа МПГК, Литосфера, Европроба, Евробридж и др.

Будучи участником этих программ, я и анализирую ниже некоторые последние научные результаты, опираясь, конечно, и на собственный опыт в изучении Балтийского, Украинского, Шарыжалгайского и других кристаллических щитов.

### 1. Проблемы ранней коры и комплексов основания кратонов

В последнем варианте Международной стратиграфической шкалы по состоянию на 2000 г. К.Пламб и Л.Роб в архейском эоне выделили 4 эры («хронометрические подразделения»): эоархей с верхней границей 3600 млн лет, палеоархей – 3600–3200 млн лет, мезоархей – 3200–2800 млн лет и неоархей – 2800–2500 млн лет. В российской хроностратиграфической шкале нижнего докембрия, обсужденной в г.Апатиты в 2000 г., обосновывается только дву-членное деление «российского архея» на нижний – самый (с верхней границей 3200 млн лет) и верхний – лопий (3200–2550 млн лет). Этим положением российские специалисты по раннему докембрию, базируясь, главным образом, на последних модельных самарий-неодимовых геохронологических данных, признают тот факт, что основной объем континентальной коры российских кратонов был сформирован во второй половине архейского эона. Лопий разделен у нас на три периода: нижний (3200–3000), средний (3000–2800) и верхний (2800–2550 млн лет). Очень примечательно, что «гадейский» (доархейский) этап развития Земли (4,6–4,0 млрд лет) во все современные геологические шкалы даже не вставляется, чем признается невозможность сейчас определения его роли в формировании пород земной коры.

Между тем, некоторые последние изотопные данные по древним цирконам очень интересны, особенно в связи с проблемой первичности или вторичности гранитной коры. Так, в кварцитах Австралии с помощью аппаратуры Шримп, анализирующей единичные зерна цирконов, найден детритовый циркон с возрастом образования в 4250–4400 млн лет.<sup>1</sup> В породах Антарктиды определен эвгедральный циркон с

<sup>1</sup>О последней цифре, полученной американскими учеными У.Пэка и Дж.Велли и активно обсужденной на конференции Американского геологического союза в ноябре 2000 г., мне стало известно только что из научного реферата Б.И.Силкина «Древние граниты Земли» в газете «Природно-ресурсные ведомости», 2001, № 23, составленном по материалам журнала «Science». Речь идет, видимо, именно о детритовом цирконе из Западной Австралии, экстремально обогащенном O<sup>18</sup>.

возрастом  $3927 \pm 10$  млн лет. Циркон из тоналитовых гнейсов Канады датирован в 4020 млн лет, а в провинции Вайоминг США обнаружены детритовые цирконы с интервалом формирования 4000–3960 млн лет. Новейшие исследования на Шримпе подтвердили также наличие эоархейских пород (3810 млн лет) в провинции Аншань в Сино-Корейском кратоне.

Цирконы особенно характерны для пород кислого состава. Поэтому не исключено, что кислые породы типа «серых гнейсов» могли слагать верхние части еще той «фантомной протокоры» (по В.Е.Хайну), которую нужно предполагать для ранних этапов развития Земли, возможно, что и для этапа ее первичной дифференциации. Безусловно, масштабы и геологическую значимость этого явления оценить сейчас нельзя, но сам факт обнаружения древнейшего возраста для такого гранитофильного минерала, как циркон, очень примечателен. Не исключено, конечно, что такая кора кислого - среднего состава не была ареальной, а находилась только в отдельных малых ядрах (нуклеусах) кратонов. К такому выводу и пришли исследователи разных стран, работавшие в 1988–1993 г.г. в Проекте 280 МПГК «Древнейшие породы Земли» (конвинер А.Кронер).

Обычно же акцент делается на анхигранитной коре континентов, как полностью вторичном продукте, сформированном на геологических стадиях развития нашей планеты в результате селективного плавления, дифференциации или гранитизации первичной базальтовой (О.Г.Сорохтин и др.), анортозит-андезитовой (Н.Л.Добрецов), анортозитовой (В.С.Шкодзинский, А.М.Никишин) или диорит-базальтовой (С.Б.Лобач-Жученко) протоземной коры. Эта концепция вторичной вертикальной аккреции гранитно-метаморфического слоя как фундаментального явления эволюции земной коры давно разрабатывается в ГИН РАН: «Надо иметь в виду, что континенты возникли на месте океанов», – говорит Ю.М.Пушаровский. В 2000 году эта концепция была еще раз акцентирована в книге М.Г.Леонова и др. «Вертикальная аккреция земной коры».

Надо подчеркнуть, что все горные породы, датированные как древнейшие во всех кратонах Мира, относятся к типу серых гнейсов и мигматитов тоналит-трондьемитового состава. Многочисленным сторонникам первичной базитовой «фантомной коры» не может помочь, мне кажется, даже очень древний (до 3800 млн

лет) и достаточно фемический зеленокаменный пояс Исуа в Гренландии, так как известно, что в основании его описываются конгломераты, опять-таки, состоящие из серых гнейсов и кварцитов. Больше того, здесь же, в Западной Гренландии, определены сейчас еще более древние (3880 млн лет) тоналитовые гнейсы, проникающие в метаосадочные породы формации Акилия. Остаются непонятными пока только взаимоотношения тех метабазитов и серых гнейсов Украинского щита, которые известны в одной из скважин и возраст которых, и тех и других, определен Е.В.Бибиковой и Н.П.Щербаком цифрой в 3650 млн лет.

Если же оставить в стороне проблему пока непознанной «фантомной коры», как продукта догеологического «гадейского» (4600–4000 млн лет) этапа развития Земли, и перейти к вопросу об архейских комплексах основания, как картируемых геологически значимых структур, то во всех кратонах, на всех региональных геологических картах, они всегда называются тоналит-трондьемит-гнейсовыми (ТТГ). Это не зависит от абсолютности или омоложенности их изотопного возраста: они могут сейчас датироваться в кольской части Балтийского щита мезоархеем (3130–2930 млн лет), в Водлозерской структуре Карелии и в центральной части Алданского щита – палеоархеем (около 3400 млн лет), а на других кристаллических щитах – даже эоархеем (до 3800–3960 млн лет, наиболее древние – гнейсы Акаста на западе Канады, но обычно не более 3600 млн лет).

В этой связи очень интересные и полные эмпирические данные по комплексам основания африканских кратонов опубликовала в 1998 г. Стратиграфическая рабочая группа всех стран южной половины Африки (Hartzel, 1998). В ее корреляционной таблице приведены сотни известных на это время изотопных возрастных данных. В 14 регионах – странах этой части континента, включающих все известные древнейшие кратоны, нет ни одного, где бы разными современными методами, в том числе Шримпом и самарий-неодимовым, были бы получены наиболее древние цифры для интрузивных ультраосновных-основных пород. Древнейшие из них – возможные гомологи индикаторных «океанических» ассоциаций, в виде Матшемпондо-перидотитов, имеют возраст только в 3334 млн лет, то есть они образовались гораздо позже эоархейских Нгвана-гнейсов (3644 млн лет), палеоархейских Барбертон – ТТГ (интер-

вал формирования 3509–3443 млн лет) и нижних супракрустальных свит знаменитой коматититами группы Онфервахт с периодом формирования 3482–3452 (3258) млн лет. В Барбентон-ТТГ-комплексе основания обращает на себя неоднократность формирования тоналитового вещества с надежно различными Шримп-датировками в 3509, 3460, 3448–3443 млн лет. Подобная же пульсационность в инъекциях одинаковых тоналит-трондjemитовых порций магм установлена нами в Кольской инфраструктуре, где минимальное, в настоящее время датированное, число архейских пульсов равно 8 и отвечает эпохам около 3130, 2930, 2835–2820, 2805–2790, 2770, 2740, 2650, 2580 млн лет.

Состав ТТГ-комплексов оснований кратонов изучен относительно хорошо, и сведения о нем приведены в многочисленных публикациях, в том числе в книге под ред. Ф.Баркера (1983 г.). Первоначально это были вулканоплутониты среднего-кислого состава особой геохимической специфики, в том числе нескольких редкоземельных трендов, многократно преобразованные в течение раннего докембрия в плагиогнейсы и мигматиты. Главные особенности геохимии таких наименее измененных ортогнейсов заключаются в преобладании натрия над калием, относительно низком содержании урана, тория, рубидия, высоком таких никеля, железа, ванадия, хрома, низком отношении изотопов стронция (около 0,700). В комплекс всегда включаются амфиболиты, хотя многие из них бывают поздними дайками, многократно пластично деформированными и мигматизированными. Во многих случаях среди этих двух преобладающих пород, которые многие исследователи считают бимодальной серией, находятся высокоглиноземистые гнейсы, а также кварциты, обогащенные железом и хромом, иногда кальцифиры и мраморы. Мне представляется, что в России состав ТТГ-комплекса наилучшим образом и современными методами сейчас изучен в интервале глубин 6842–12261 м Кольской сверхглубокой скважины в рамках Проекта 408 МПГК (Туркина и др., 2000).

В различных частях щитов состав комплексов основания может отличаться. Это связано не только с первичными причинами их эндогенного и экзогенного генезиса, но и с многократной структурно-вещественной метаморфической переработкой в условиях от гранулитовой до зеленосланцевой фаций. Не случайно эти полиметаморфические комплексы часто

называются «инфраструктурными». Этим подчеркивается, что в условиях наложенного ультраметаморфизма, особенно мигматизации и частичного плавления, коровое вещество фундамента (основания) становится пластичным, легко реагирует на деформации и формирует вместе с перекрывающими породами (суперструктурой) единую гармоничную структуру часто со вторичными интрузивными (ремобилизованными) отношениями пород «фундамента-покрова». Примеры этого известны на многих границах архейских интракратонных зеленокаменных поясов и их комплексов основания. По данным Т.Б.Баяновой и др. на Кольском полуострове – это корневые межкупольные образования Оленегорского железорудного пояса (2760–2740 млн лет) и гнейсо-тоналиты (2790±20 млн лет) кольского комплекса основания (древнее 2830 млн лет).

Процессы наложенного ультраметаморфизма и плавления (анатексиса) в комплексах основания, естественно, приводили к изменению состава пород и минералов, в том числе к изменениям изотопных систем в минералах-геохронометрах, то есть к «омоложению» возрастных датировок. К счастью, природные процессы всегда оставляют реликты: вся историческая геология базируется на них. Такими реликтами в ремобилизованных комплексах основания бывают и участки пород разных размеров, и минералы, в том числе геохронометры, особенно часто цирконы, обладающие наиболее прочной структурой.

Опыт показывает, что во многих гнейсовых породах раннего докембрия при аккуратной сепарации можно выделить несколько генераций цирконов различных возрастов. Число таких примеров сейчас увеличивается в связи с внедрением в геохронометрические исследования анализов единичных зерен. Так в гранулитовых породах Колвицкой структуры Кольского полуострова, имеющих возраст метаморфизма около 1900 млн лет, Д.Бриджуотер и др. (1999) нашли небольшое число зерен цирконов, датированных самыми древними цифрами в Европе вплоть до 3200 и даже 3750 млн лет. Мне кажется, что этому факту сейчас есть, по крайней мере, не менее двух объяснений. Авторы, рассматривая протолиты этих гранулитов как протерозойские аккреционные осадки, уверенно считают эти цирконы детритовыми, принесенными с каких-то очень отдаленных областей сноса. Я же, полагая, что Лапландско-Кол-

вицкий гранулитовый пояс является обдукционной пластиной, выдвинутой из нижней коры в среднюю во время коллизии раннего протерозоя, а эта позиция отражена в новом варианте Геологической карты Кольского региона (Митрофанов, 1996), могу думать, что эти цирконы являются реликтовыми в очень древнем протолите. Такие спорные вопросы сейчас постоянно возникают при изучении цирконов во всех кратонах Мира, оставляя исследователям возможности и расширять и сокращать объемы древних земных кор в кратонах.

## 2. Чарнокит-гранулитовые и мигматит-гнейсовые домены

Выходящие на поверхность породы комплексов основания кристаллических щитов обычно ультраметаморфизованы в амфиболитовой фации. Однако, среди них нередко описываются породные ассоциации гранулитовой фации. В тех случаях, когда такие гранулитовые образования имеют картируемую структуру дискордантных метаморфических поясов повышенного давления (типа Лапландского, Гренвиллского, Лимпопо), и геохрометры определяют их относительно молодой возраст (а так чаще и бывает), понимается, что это производные наложенных, часто коллизионных, процессов. В ситуации же, когда гранулиты и эндербиты слагают линзовидные включения или даже обширные области и подстилают более молодые архейские зеленокаменные пояса (например, в субпровинции Унгава в Канаде), гранулитовый метаморфизм считают одновозрастным или более древним по отношению к метаморфизму амфиболитовой фации.

Одновозрастными я сейчас считаю на Кольском полуострове комплексы основания разных фаций глубинности: гранулит-эндербиты кольского комплекса и амфиболит-гнейс-мигматиты беломорского комплекса. Первые сформировались в ряд эпизодов в интервале 2830–2640 млн лет, а вторые – 2930–2580 млн лет.

Проблема взаимоотношений пород гранулитовой и амфиболитовой фаций остается все еще животрепещущей особенно в России, Белоруссии и на Украине, где ряд наших исследователей, вслед за Л.И.Салопом, продолжают считать, что именно гранулитовый ареальный и малоглубинный метаморфизм является геологическим показателем совершенно особых физических условий самой ранней Земли и ее

«гранулитовой протокры». С этими особыми условиями, в частности с огромным давлением мощной и плотной атмосферы на поверхность Земли, часто связывают возникновение жизни (см. например, И.А.Резанов, 2001). В статье, опубликованной в белорусском журнале «Литосфера», А.А.Сиворонов, и др. (2000 г.) отстаивают ту позицию, что такая первичная кора, или «чарнокит-гранулитовый структурно-формационный комплекс», имела повсеместное развитие в кратонах, а в эоархее она была верхним слоем мощностью до 15–20 км большей части всех континентов, являясь в догеологическое время образованием наиболее низкотемпературных аккреционных конденсатов протопланетного газопылевого облака. Стараясь обосновать гипотезу эпиархейского расширения Земли, ранее я, вместе с К.А.Шуркиным, и Л.Е.Шустовой в статье сборника под ред. Е.Е.Милановского «Проблемы расширения и пульсаций Земли» (1984), также поддерживал эту идею первичного пангранулитового метаморфизма. К сожалению, современные мировые геохронологические данные пока мало ее подтверждают.

Дело в том, что во многих обнаженных архейских гранулитовых доменах щитов, даже таких крупных как Н.Квебек в Канаде площадью до 120 тыс.км<sup>2</sup>, изотопный возраст пород оказывается более молодым, чем в окружающих гранит-зеленокаменных областях. В некоторых случаях эта разница достигает миллиарда лет. Такая сводка данных приведена в статье по гранулитам Р.К.Ньютона (Newton, 1987). Объяснение такой разницы в возрасте он видит во вторичности, наложенности гранулитового метаморфизма на прежде сформированную кору, обычно аномально большой мощности, высокого термического градиента и специфического флюидного потока, в основном углеродного, при малой активности воды. Предложены и гипотетические механизмы: континентальной коллизии, субдукции, а также «горячего пятна». Как видно, этим автором обсуждаются механизмы формирования только относительно молодых метаморфических анортозит-гранулитовых поясов лапландского типа, которые могут быть не только докембрийскими, но и фанерозойскими, вплоть до эоценовых, например, в Британской Колумбии. Им не затрагиваются самые древние гранулиты евроазиатских щитов, первые данные по которым сейчас появились.

Так, например, Е.В.Бибикина с помощью

шведского масс-спектрометра Нордсим в обширном Днестрово-Бугском эндербит-гранулитовом блоке Украинского щита в ядре магматического циркона из эндербита определила возраст вещества в  $3650 \pm 30$  млн лет. Гранулитовый циркон в этих же породах был определен Н.П.Щербаком и др. (1991 г.), как имеющий возраст  $3400 \pm 100$  млн лет. Эти цифры сопоставимы с датировками других древних пород Украинского щита вне гранулитового блока, а также с датировками гранулитов в Китае и в Антарктиде. В последней А.Блэк и др. (1986 г.) обнаружили даже породы с возрастом  $3927 \pm 10$  млн лет, в то время как Р.К.Ньютон в своей статье приводит для Антарктиды только более ранние определения в 3100–3000 млн лет.

Проблемы взаимоотношений архейских анортозит-гранулитовых, мигматит-гнейсовых и гранитных пород специально исследовались в рамках Проекта 280 МПГК и особенно детально обсуждались на обнажениях в провинции Хибей Китая в 1993 году. Там, по мнению китайских геологов, известны породы гранулитовой фации, сформировавшиеся и в ранний (до 3500 млн лет назад) и в поздний (до 2500 млн лет назад) этапы архея. Интерпретация взаимоотношений и определение протолитного состава древних пород там так затруднены обильными поздними гранитными проявлениями с возрастом 2900–2500 млн лет, что даже определение геологического положения мафических пород, включая известные расслоенные лейкогаббро-анортозиты, осталось для участников проекта остро дискуссионным. Непонятно даже накладывался ли на эти базитовые породы гранулитовый метаморфизм, хотя возраст их, по самарий-неодимовой изохроне валовых проб, был определен древней цифрой порядка 3500 млн лет.

Таким образом, проблема геолого-геохронологического обоснования абсолютной древности некоторых обнаженных метаморфических пород гранулитовой фации, в том числе и включенных в них анортозитов и эндербитов, остается пока открытой. Между тем, решение ее крайне важно как для фундаментальной исторической геологии докембрия, так и для прогнозной металлогении, например на алмазы (см. раздел 4 данной статьи).

### 3. Глубинная земная кора щитов и ее сохранность

По результатам международных геолого-

геофизических исследований программы Литопроба, из составленных геотранссектов по кратонам Канады и Европы сейчас известно, что основания их земной коры часто интерпретируются как «гранулит-гнейсовые» и «гранулит-базитовые слои». В ряде случаев эти исследования были дополнены прямым изучением глубинного вещества ксенолитов из дайковых и вулканических пород, а также из трубок взрыва (программа «Гипоксенолит»).

В европейском геотрансекте («Евротранс-сект-3»), проходящем с СЗ на ЮВ по структурам архейских Мурманского и Центрально-Кольского доменов, Лапландского гранулитового пояса, архейского Беломорского домена, раннепротерозойской Северо-Карельской шовной зоны, Фенно-Карельской гранит-зеленокаменной области и по свекофеннидам Финляндии (Митрофанов и др., 1992), в строении земной коры выделяются слои: гранито-метаморфический (скорость продольных волн 5,2–5,9 км/с; плотность  $2,6-2,75$  г/см<sup>3</sup>), гранулит-гнейсовый (6,3–6,5; 2,75–2,9), гранулит-базитовый (6,6–6,8; 2,9–3,0) и корово-мантийный, или переходный, слой (7,0–7,3 км/с; 3,0–3,2 г/см<sup>3</sup>). С раздела М, расположенного на глубинах обычно 40 км, но достигающих в некоторых структурах 60 км, скорости продольных волн увеличиваются до 8,0–8,2 км/с, а плотность – до 3,35 г/см<sup>3</sup>.

Гранулит-гнейсовый слой, по нашей интерпретации, выходит на поверхность на Кольском полуострове в виде Лапландско-Колвицкого гранулитового пояса – обдукционной пластины в Кольском раннепротерозойском коллизиином сооружении. В ультраметаморфизованном в процессе внутрикоровой обдукции веществе, представленном в виде высокобарных гранулитов (до 13 кбар) разного состава, изотопная память о древнем возрасте, видимо, не сохранилась (пока не найдена?): немногочисленные неодимовые модельные возрастны определения в них, по данным М.Тиммермана и др., чуть превышают 2 млрд лет. Зафиксированы лишь вторичные процессы, связанные с раннепротерозойской обдукцией: анортозитовый магматизм 2450 млн лет назад, пульсационный гранулитовый метаморфизм в интервале 2420–1900 млн лет назад, ретроградный метаморфизм амфиболитовой фации – 1900–1710 млн лет назад.

В гипоксенолитах из палеозойских трубок взрыва и из даек Беломорья В.Р.Ветрин (1998) детально изучил основные и кислые гранит-пироксеновые гранулиты, транспортиро-

ванные эксплозивными процессами из нижней коры региона, которая сейчас находится на глубинах более 10 км. Оказалось, что модельный неодимовый возраст протолитов этих пород лежит в интервале 2940–2390 млн лет, то есть он сопоставим и с наиболее древним возрастом кольских гранулитов умеренных давлений и с возрастом лапландских гранулитов высокого давления. Кроме того, В.Р.Ветрин установил, что породы этих глубин подвергались и процессам гранитизации в эпохи, возраст которых, определенные уран-свинцовым методом по цирконам, составляет 2750, 2400, 1800–1700 млн лет.

Таким образом, в восточной части Балтийского щита, в Кольско-Фенно-Карельской архейской провинции, в общем строении земной коры устанавливаются и элементы структурно-вещественной сохранности ее архейских компонентов и многочисленные свидетельства их глубокой многократной переработки. В этом регионе наиболее существенные перестройки низов земной коры происходили в эпохи, совпадающие с важнейшими плюмовыми процессами, проявляющимися в верхних уровнях земной коры в особом магматизме (Вауанова, Mitrofanov, 2001): анортозит-щелочногранитном (2750–2630 млн лет), анортозит-базитовом (2500–2400 млн лет), анортозит-рапакиви-гранитном (1700–1550 млн лет) и щелочно-ультраосновном (410–360 млн лет). С этими процессами связано формирование в низах коры корово-мантийного слоя, как результата андерплейтинга, то есть приращения и базификации коры снизу. Они проявились также в рифтообразовании и в активном метаморфизме, в преобразовании корового вещества, включая изотопные геохронометры, которые, в результате потери своей «памяти», часто начинали новый отсчет возраста.

Картина, сходная с описанной для Балтийского щита, приводится в работах Дж.Ладдена, А.Калверта, Л.Химана и других исследователей по Канадскому щиту. В них, на примерах кратонов Сьюпириор и Слейв, а также Гренвиллского пояса, признается перестройка и омоложение древней земной коры в результате последующих глубинных процессов, связанных с плюмовой активностью. Так, на глубинных трансектах Литопробы по Гренвиллской провинции мезопротерозойского возраста (1100–1000 млн лет), до 50–80% объема земной коры отнесены к архейским образованиям, переработанным гренвиллской орогенцией. Приводятся и факты но-

вообразования цирконов протерозойского возраста в архейском протолите, изученном в глубинных ксенолитах из нижней коры (Moser, Heaman, 1997).

#### 4. Кратоны и алмазоносность

Фундаменты кратонов, особенно покрытые осадочно-вулканогенным чехлом, наиболее интересны для поисков промышленных алмазов. При этом расчленение структур фундамента кратонов по возрасту формирования и зрелости континентальной коры оказалось важнейшим показателем коренной алмазоносности территорий, связанной с кимберлитами и их менее распространенными родственниками – лампроитами. С 1964 г. известно эмпирическое правило Г.Клиффорда, согласно которому наиболее экономически важные алмазные коренные месторождения надо искать только в архейских кратонах. Предполагается, что именно в этих древнейших консолидированных структурах континентальная литосфера наиболее мощная, геотермический градиент наименьший и мантия наиболее холодная, что благоприятно для сохранности алмазов в верхних слоях литосферы. По специально мною проработанным данным, можно даже уточнить, что все наиболее крупные кимберлитовые провинции как, впрочем, и все крупнейшие щелочные провинции, связаны с теми архейскими доменами в кратонах, которые имели гранулитовую предысторию и, соответственно, обеднены гидроксидом и обогащены окислами углерода. Последние особенно необходимы и для экспрессной транспортировки алмазов с глубин к поверхности.

А.Янс в 1992 г., специально с целью уточнения прогнозов на алмазы, предложил уточнить возрастную характеристику кратонов. Он выделил: архоны с архейскими породами, консолидированными до 2500 млн лет назад; протоны, сложенные ранне-среднепротерозойскими породами, термическая ремобилизация которых закончилась 1600 млн лет назад; тектоны с позднепротерозойским фундаментом, стабильным с 800 млн лет назад. Некоторые исследователи, например Д.В.Макаров (2001 г.), считают возможным утверждать, что в архонах могут быть все типы коренных месторождений алмазов, в том числе экономически наиболее важные, в протонах – месторождения, связанные с лампроитами, например, австралийский Аргилл, а тектоны – бесперспективны на промышленные алмазы.



В мартовском 2001 года номере французского журнала «Geochronique», специально посвященном алмазам, в статье Ж.К.Мишеля уточняется также, что кимберлиты Южной Америки, найденные в протерозойских поясах, сейчас считаются не экономичными. Такая же ситуация может быть и с недавно обнаруженными алмазоносными трубками среди окраинных свекофеннит восточной Финляндии, хотя здесь и не исключается присутствие архейского комплекса основания края Карельского архона.

В этой связи сейчас нужно обратить особое внимание на то обстоятельство, что в последние 10 лет С.В.Богданова и возглавляемая ею международная группа исследователей проекта Евробридж провела серьезную переинтерпретацию данных по фундаменту Восточно-Европейского кратона. Утверждается, что его западная часть, включая многие области России, Белоруссии и прибалтийские республики, сложена не археидами, как считалось раньше, а свекофеннидами, то есть относится не к архону, а к протону, с соответствующим, можно думать, снижением перспектив алмазоносности по сравнению с известной Архангельской провинцией. Все это, конечно, справедливо только в том случае, если гранулитогнейсовые домены Белоруссии и соседних территорий действительно относятся к аккреционным образованиям свекофеннит, а не являются, как бы я хотел думать, в значительной своей части глубоко переработанными архейскими структурами бело-морско-архангельского типа. Пока, во всяком случае, имеющиеся геохронологические данные больше подтверждают позицию С.В.Богдановой. Тем не менее, например в раннепротерозойских (свекофеннитских) гранитах-рапакиви Финляндии С.Клайсон обнаружил зерна архейских ксеногенных цирконов с возрастными 2695±13 и 2666±22 млн лет. Они, как он считает, могут свидетельствовать о наличии архейской коры в каких-то частях обширной Свекофеннитской области, рассматриваемой обычно как типичный пример раннедокембрийской энсиматической структуры с раннепротерозойским формированием аккреционной земной коры (см. последнее издание Международной тектонической карты Европы, 1996).

### 5. Лавразийская и гондванская группы кратонов

Кратоны (древние платформы) лавразийской и гондванской групп отличаются некоторыми особенностями. Первые в общей площади современных материков, особенно в Евразийской литосферной плите, занимают, конечно, меньшее место, чем вторые в континентах Гондваны. Это хорошо видно на схеме В.Е.Хайна (рис.). Однако, если посмотреть на карты шельфовых областей Мира, то эти соотношения изменятся за счет обширности шельфов северной Атлантики и Арктики. Геологические материка Лавразии гораздо обширнее географических, что дает существенное преимущество северным странам в будущей их энергообеспеченности.

В южных кратонах важную роль играют знаменитые рудоносные архейские бассейны (Витватерсранд, Хамерсли и др.) и обширные зеленокаменные области, залегающие среди гранит-мигматитовых куполов. Зеленокаменные пояса в них насыщены коматитовыми вулканитами, часто слабо метаморфизованными и хорошо сохранившимися, обогащенными металлами халькофильного ряда, дающими крупные месторождения никеля, меди, платино-

вые пояса в них насыщены коматитовыми вулканитами, часто слабо метаморфизованными и хорошо сохранившимися, обогащенными металлами халькофильного ряда, дающими крупные месторождения никеля, меди, платино-

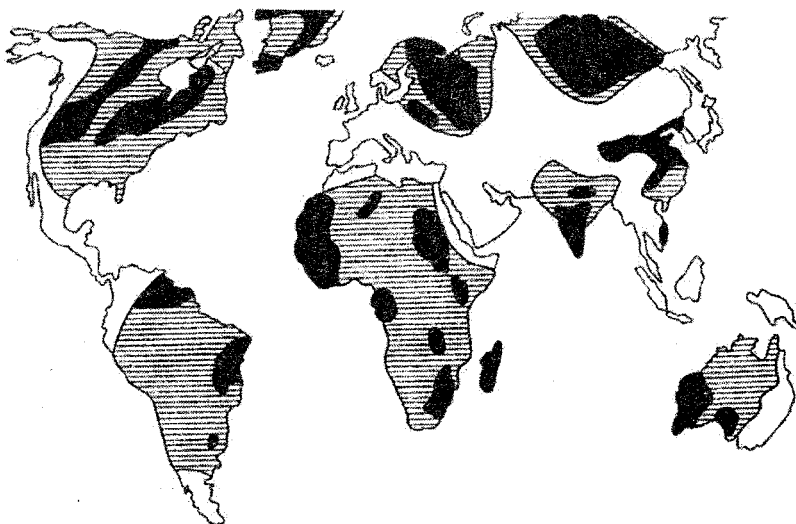


Рис. Архейские прото-платформы (черные) и раннепротерозойские подвижные пояса (штриховка) в составе фундамента древних платформ (по В.Е.Хайну).



идов, золота. По своей природе они более си-  
матические, чем зеленокаменные пояса север-  
ной группы с их обычной энсиалической при-  
родой, мультимодальным (островодужным) вул-  
канизмом и железорудной специализацией.

На примере восточной половины Восточ-  
но-Европейской платформы, включающей  
Кольско-Беломорско-Архангельскую провин-  
цию и ее аналоги в Волго-Уральской области  
фундамента, видно, что архей здесь представ-  
лен, в основном, гранулит-гнейсовыми доме-  
нами, бывшие зеленокаменные и терригенные  
пояса которых, вместе с комплексами основа-  
ния, часто метаморфизованы и ультраметамор-  
физованы вплоть до гранулитовой фации. Это  
то, что я называю «гранулит-зеленокаменными  
доменами». В этих структурах собственно ко-  
матиитовых образований мало и, наверное, не  
только потому, что они не сохранились при ме-  
таморфизме. Соответственно, и все поиски  
здесь крупных залежей никелевых руд типы  
Камбалда до сих пор были безуспешными. К  
тому же нужно заметить, что и крупнейшие ран-  
недокембрийские массивы метаморфизованных  
гранатовых анортозитов, всегда ассоциирую-  
щих с гранулитами типа кольско-лапландских,  
сутамских и капускасингских, не очень харак-  
терны для гондванских материков, как мне это  
сообщил в личной беседе известный знаток  
анортозитов Мира Л.Ашвел.

Можно также думать, что в значительной  
своей части архейские зеленокаменные пояса се-  
верной группы более поздние (3100–2700 млн лет)  
по сравнению с раннеархейскими поясами юж-  
ной группы, начинающими развитие 3600 млн лет  
назад и даже ранее. Об очень ранней консоли-  
дации мощной континентальной литосферы  
южноафриканских кратонов можно говорить и  
потому, что в конгломератах Витватерсранда  
(древнее 2900 млн лет) имеются алмазы – про-  
изводные выветривания древнейших кимберли-  
тов. Трубки древних кимберлитов, датирован-  
ные в 1600–1700 млн лет, найдены в провин-  
ции Кап Южной Африки и в кратоне Гуаниамо  
Венесуэлы. Более того, петрологически только  
при условии признания высокой зрелости ран-  
неархейской континентальной коры в кратонах  
Гондваны можно объяснить тот факт, что в Ав-  
стралии в кратоне Пилбара имеются молибден-  
медные месторождения (Коппин Кап, Гоббос)  
с возрастом 3314 млн лет, обычно связанные с  
посторогенными этапами развития континен-  
тальной земной коры.

Все это наводит на мысль о том, что в ар-  
хейское время для разных кратонов имелись зна-  
чимые различия в протомантии, в ее ранних маг-  
матических продуктах, в ее влиянии на состав и  
термодинамику ранней коры. В этом есть что-то  
сходное с известной асимметрией планет, напри-  
мер, с наличием на Луне «анортозитовых мате-  
риков» (лавразийская ситуация) и «базальтовых  
морей» (гондванская ситуация), а также с извест-  
ным разделением Земли С.С.Смирновым на  
Атлантический и Тихоокеанский планетарные  
секторы. Диссимметрия ранней Земли призна-  
ется многими исследователями (в России во гла-  
ве с В.Е.Хаиным и О.Г.Сорохтиным), считающи-  
ми, что в конце архея существовали Пангея и  
Панталасса. На эту тему имеется большая лите-  
ратура. Последние российские известия должен  
принести специальный симпозиум по докемб-  
рийским суперконтинентам, организованный  
Научным советом по геологии докембрия  
4–7 июня 2001 г. в Иркутске.

В том же, что касается международных  
исследований, то мне представляется, что наи-  
больший прогресс здесь сейчас получен в изу-  
чении и корреляции докембрия западных лав-  
разийских кратонов, включающих Восточно-  
Европейский и Канадско-Гренландский крато-  
ны, а также расположенные между ними докем-  
брийские образования Шпицбергена и Шотлан-  
дии. Отчетные данные по проектам МПГК 275  
и 371 («Глубинная геология Балтийского щита»,  
конвинеры Р.М.Горбачев и Ф.П.Митрофанов и  
«Северо-Атлантический докембрий – Копена»,  
конвинеры Р.М.Горбачев и К.Ф.Гоуэр), а также  
по примыкающим к ним проектам Европробы  
– Свекалапко (конвинеры С.Дэли и С.Хьелт),  
Евробридж (конвинер С.В.Богданова) и др.,  
включают и множество новых фактических ма-  
териалов и ряд солидно аргументированных ин-  
терпретаций. В числе многих первых можно от-  
метить находки раннедокембрийских офиоли-  
товых ассоциаций: уверенных – в Финляндии  
(Йормуа, около 1950 млн лет), вероятных – в  
Канаде и в Карелии (около 2800 млн лет, по дан-  
ным А.А. Щипанского и др 2001); трансатлан-  
тическую корреляцию готских и лабрадорийс-  
ких событий (1750–1550 млн лет), а также грен-  
виллских деструктивно-орогенических процес-  
сов (1300–900 млн лет) в прото-Лаврентии, в  
прото-Балтике и в других кратонах; обнаруже-  
ние древних (более 1700 млн лет и даже архей-  
ских) коровых компонентов (террейнов) в даль-  
сландском докембрии южной Норвегии.

На основе этих и многих других комплексных, геолого-геофизико-геохимических, данных международные коллективы исследователей сейчас довольно согласованно и уверенно составляют плейттектонические модели развития композитных позднеархейских и протерозойских суперконтинентов, коллажных ансамблей кратонов, аккреционных, коллизионных и прочих раннедокембрийских структур. В самые последние годы эти модели дополняются и изменяются элементами докембрийской рифтовой и плюмовой тектоники, достаточно давно известной в России из публикаций Е.Е.Милановского, А.Ф.Грачева, В.М.Моралева, М.З.Глуховского и др. Так, например, в Кольской части Балтийского щита сейчас нами различными изотопно-геохимическими методами, включая важнейший гелиевый, установлены, по крайней мере, четыре важнейших рудоносных плюмовых события в позднем архее, в раннем протерозое (2500–2400 и 1650–1550 млн лет) и в среднем палеозое, с продолжительностью каждого около 100 млн лет.

Такая новая глобальная тектоника раннего докембрия составит в будущем основу для результативных металлогенических прогнозов на обширных территориях древних кратонов, в том числе и закрытых платформенным чехлом.

Этот аналитический обзор составлен автором в Геологическом институте КНЦ РАН (г.Апатиты) и был бы невозможен без того огромного фактического материала, который имеется сейчас у сотрудников этого Института и Института геологии и геохронологии докембрия РАН (г.Санкт-Петербург). В последнем автор проработал свои первые 30 лет. Всем моим коллегам и помощникам из обоих институтов огромная благодарность.

Ниже приводятся, в основном, только те литературные источники, на которые опирается автор или новые фактические данные которых обсуждает в статье.

### Список литературы

*Бриджсуотер Д., Скотт Д., Балаганский В.В. и др.* Природа раннедокембрийских метаосадков в Лапландско-Колвицком поясе по результатам Rb-Rb датирования единичных зерен циркона и Sm-Nd изотопным данным по породам в целом. Доклады РАН, 1999. Т.366, №5. С.664–668.

*Ветрин В.Р.* Нижняя кора Беломорского мегаблока: ее возраст, состав и условия образования

(по результатам изучения глубинных ксенолитов) //Вестник МГТУ, Мурманск, 1998. Т.1, № 3. С.7–18.

Геологическая карта Кольского региона, масштаб 1:500000. Ред. Митрофанов Ф.П., Апатиты, 1996.

Докембрийская геология СССР. Ред. Рундквист Д.В., Митрофанов Ф.П., Л.: Наука, 1988. 440 с.

Международная тектоническая карта Европы, масштаб 1:5000000. Третье издание. С.-Пб, ВСЕГЕИ, 1996.

*Митрофанов Ф.П., Шаров Н.В., Загородный В.Г. и др.* Интерпретация строения земной коры по геотраверсу Печенга-Костомукша-Ловиса//Геодинамика и глубинное строение советской части Балтийского щита, Апатиты, 1992. С.16–24.

*Резанов И. А.* Условия возникновения жизни в Солнечной системе//Вестник РАН, 2001. Т.71, №4. С.356–362.

*Сиворонов А.А., Малюк Б.И., Бобров А.Б., Лысак А.М.* Эволюция литосферы гранит-зеленокаменных областей нижнего докембрия//Литосфера, Минск, 2000. №13. С.11–19.

Тектоническая карта фундамента территории СССР. Ред. Наливкин Д.В., Л.: ВСЕГЕИ, 1974.

*Туркина О.М., Ветрин В.Р., Кременецкий А.А.* Тоналит-трондьемитовые гнейсы архейского комплекса Кольской сверхглубокой скважины//Результаты изучения глубинного вещества и физических процессов в разрезе Кольской сверхглубокой скважины до глубины 12261 м. Апатиты, 2000. С.56–67.

*Хаш В.Е., Короновский Н.В., Ясаманов Н.А.* Историческая геология. М.: МГУ, 1997. 448 с.

*Щипанский А.А., Бабарина И.И., Крылов К.А. и др.* Древнейшие офиолиты на Земле: позднеархейский супрасубдукционный комплекс Ириногорской структуры Северо-Карельского зеленокаменного пояса//Доклады РАН, 2001. Т.377. №3. С.376–380.

A stratigraphic table the SADC countries. Ed. Hartzel F.J., S.Africa, 1998.

*Bayanova T.B., Mitrofanov F.P.* Plume processes from Archaean to Paleozoic in the Eastern Baltic Shield //Proc. of EGU-2001, Strasbourg. P.481–486.

*Moser D.E., Heaman L.M.* Proterozoic zircon growth in Archaean lower crustal xenoliths, southern Superior craton//Contrib. Mineral. Petrol., 1997. №128. P.164–175.

*Newton R.C.* Petrologic aspects of granulite facies terrains bearing on their origins. Proterozoic Lithospheric Evolution. Ed. by A. Kroner. Geodynamic ser., 1987. V.17. P.11–26.

Precambrian Ore Deposits of the East European and Siberian Cratons/Eds. Rundqvist D.V., Gillen C., Elsevier, 1997. 457 p.

*Рецензенты А.И. Русин, А.В. Маслов*