

---

---

*Л. П. Свириденко*

## **ЭНДОГЕННЫЕ РЕЖИМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ДОКЕМБРИИ**

### **Введение**

Одним из основных научных направлений К. О. Кратца и его последователей стало изучение докембрия восточной части Фенноскандинавского щита. Ими установлена взаимосвязь геологических структур современного эрозионного среза с глубинным строением земной коры. Обосновано блоковое строение земной коры (Восточная часть..., 1975; Земная кора, 1978; Земная кора и металлогения..., 1983; Методика и результаты..., 1987). Убедительно доказана индивидуальность геологического развития выделенных геоблоков, мегаблоков.

Геологические исследования велись в тесной взаимосвязи с геофизическими и петрофизическими, что позволило объяснить слоистость структуры земной коры на более высоком уровне. Вместо двуслойной обоснована четырехслойная модель коры. Эндеогенные и экзогенные процессы докембрийского корообразования увязаны с общей структурой литосферы.

Разносторонние исследования Института геологии КарНЦ РАН нашли ясное отображение в докладах Всероссийской конференции, посвященной 50-летию института (Геология Карелии..., 2011), а также в материалах международной конференции «Связь поверхностных структур земной коры с глубинными» (2008). Современные представления, подтвердившие глубинное строение земной коры центральной части Карельского геоблока, по-новому трактуют существующую расслоенность земной коры (Шаров, 2013). Намечены зоны глубинных разломов, разграничивающих блоки в различных этажах коры.

Если в изучении глубинного строения получены весомые результаты, то понимание значимости вулкано-плутонизма и гранитообразования в формировании земной коры, к сожалению, недостаточно, что отрицательно влияет на рассмотрение вопросов геотектоники докембрия. А. П. Светову на большом фактическом материале с использованием разработанной им методики палеовулканологии докембрия удалось убедительно показать развитие платобазальтового вулканизма, с характеристикой разновозраст-

ных плато (Светов, 2003), тем не менее архейские зеленокаменные пояса до сих пор ошибочно рассматриваются как первичные структуры. Более того, в настоящее время тектоническая ситуация в геологической литературе нередко определяется на основании сходства того или иного отдельного докембрийского магматического комплекса с типичными комплексами современного плейтектонического режима (Кожевников, 2000; Слабунов, 2008, 2012 и др.). То же можно сказать и об эндогенном режиме региональной гранитизации. Основная причина объясняется сложностью и дискуссионностью процессов докембрийского гранитообразования. Отсюда и необходимость, ссылаясь на многолетний личный опыт, рассмотреть значимость взаимодействия вулканизма и гранитообразования при формировании докембрийской земной коры.

### **Проблема древнейшей протокоры**

Названная проблема остается одной из наиболее сложных и недостаточно исследованных. До настоящего времени не раскрыты четкие геологические соотношения раннеархейской протокоры с более поздними геологическими образованиями. Контакты позднеархейских зеленокаменных поясов зачастую рассматриваются только как первичные контакты с комплексом фундамента. Более того, само понятие «зеленокаменный пояс» прочно вошло в научную литературу. Первичность данных структур считается общепринятой (Грачев, Федоровский, 1980; Арестова и др., 1999 и др.). Вместе с тем обосновывается их вторичный реликтовый характер на площадях региональной гранитизации (Свириденко, 1980).

Большинство исследователей (Лобач-Жученко и др., 1974; Кожевников, 1999; Бибикина и др., 2005 и многие другие) за основу выделения протокоры берут вещественный тоналит-гранодиоритовый состав (ТТГ). Породы такого состава имеют изотопные датировки как раннеархейского, так и позднеархейского возраста (Ранний докембрий..., 2005; Mutanen, Nuhma, 2003 и многие другие). Раннеархейский возраст, полученный

для комплекса Пудасъярви (Mutanen, Nuhma, 2003), не послужил основой для разделения комплекса фундамента и позднеархейских (лопийских) образований. Авторы считают, что интервал геологического времени от раннего архея до позднего архея, составляющий около 1 млрд лет, – это возраст первичного формирования магматических пород тоналит-трондьемит-гранодиоритовой ассоциации.

Главной причиной такого многообразия взглядов, скорее всего, является недостаточная геологическая изученность столь сложных архейских образований. Важно отметить, что в настоящее время благодаря геологическим, космическим и экспериментальным данным растет число исследователей, считающих, что породы с возрастом 3,8–3,5 млрд лет слагают глобальную протокуру. Она-то и служит фундаментом для всех последующих геологических комплексов. Вещественный состав комплекса фундамента представлен переслаивающимися диафторированными двупироксеновыми кристаллическими сланцами, пироксеновыми амфиболитами, биотитовыми и гиперстен-биотитовыми плагиогнейсами и диорито-гнейсами. Общей особенностью состава данного комплекса служит широкое распространение богатых кальцием пород.

На территории Фенноскандинавского щита подобные породы отвечают диоритовому слою земной коры (Земная кора, 1978; Свириденко, 1980; Кременецкий и др., 1990). Отличительной особенностью химического состава древних эндербитов, диорито-гнейсов и тоналитогнейсов является высокое содержание глинозема и окиси кальция при низком содержании окислов железа и магния. Однако самой главной особенностью протокуры служит отсутствие в ее составе первичного калиевого полевого шпата. В галечном материале позднеархейских конгломератов он не обнаружен (Виноградов, Свириденко, 1979). Это типичные диорито-гнейсы с положительными аномалиями в гравитационном поле, что отличает их от близких по составу верхнеархейских тоналит-трондьемит-гранодиоритовых ассоциаций. Раннеархейские метаморфические породы, подвергаясь многократным наложенным геологическим процессам, не сохранили своих первичных геологических форм. Этого нельзя сказать о позднеархейских вулканогенно-осадочных образованиях.

В отличие от раннеархейских многократно метаморфизованных пород позднеархейские вулканогенно-осадочные образования сохранили свои первичные геологические формы, что способствовало изучению вулканогенно-осадочного литогенеза. Последующая история геологического развития Фенноскандинавского щита связана с первоначальным формированием зрелой коры континентального типа путем ее последовательного наращивания на раннеархейскую протокуру сверху.

## Докембрийский вулканизм и कोरोобразование

Вулканизм Карелии детально исследовался в Институте геологии КарНЦРАН с использованием разработанной А. П. Световым методики (Светов, Свириденко, 2005). Доказано, что главный тип эруптивной деятельности в докембрии представлен платобазальтовым вулканизмом. Удалось зафиксировать не менее 25 импульсов (фаз) платобазальтовых излияний. Подобное проявление вулканизма вполне сопоставимо с интенсивно проявленным базальтовым вулканизмом на планетах земной группы Солнечной системы. Скорее всего, это отражает специфику докембрийского периода геологического развития.

Известные в настоящее время в Карелии 52 вулканические постройки и места их предполагаемого размещения однозначно свидетельствуют об отсутствии в докембрии поясового распределения вулканизма, типичного для фанерозоя. Доказательством тому служат выявленные центры эндогенной магматической активности (ЦЭМА).

Во всех изученных ареалах платобазальтовый вулканизм сопровождала терригенная седиментация. Основой палеогеографических построений бассейнового осадконакопления является циклический характер терригенного вулканогенного литогенеза. Важно подчеркнуть, что характер терригенной седиментации идентичен в позднем архее и протерозое. Низкая степень позднеархейского регионального метаморфизма (не превышающая зеленосланцевой фации) позволила изучить разрез лопийской базальной терригенной толщи в районе оз. Нижнего Летнего на южном замыкании Лехтинской структуры. Неполная мощность терригенных пород в этом районе составляет около 800 м. Часть из них гранитизирована. Литологические особенности терригенных пород здесь свидетельствуют об их формировании в условиях циклического трансгрессивно-регрессивного осадконакопления. Аренитовый характер осадков, представленных главным образом мелко-, среднезернистыми песчаниками с маломощными линзами гравелитов и внутриформационных конгломератов, литологическая выдержанность пачек осадочных пород, наличие косослоистых текстур разных генетических типов указывают на значительную скорость транспортировки обломочного материала из прилегающих областей континентального выветривания. Большие мощности и состав терригенных пород в основании лопийского разреза свидетельствуют об их формировании на сиалической протокуре (Светов, 1979; Светов, Свириденко, 1991).

Начало массовых излияний лав во всех изученных эруптивных зонах (как лопийских, так и протерозойских) фиксируют регрессивные стадии, размыв и переотложение подстилающих лавы осадков. Появление грубообломочных фаций гравийно-конгломератовых отложений фиксирует общее воздымание области предстоящей вулканической деятельно-

сти. Вулканическим фазам предшествовали периоды высокого стояния прилегающих континентальных областей с активной пенеппенизацией и формированием кор выветривания. Частые горизонты терригенных зрелых, многократно перемытых косо-слоистых аренитов между лавовыми потоками – следствие длительных лавовых межстадиалов. Так формировались разновозрастные вулканогенно-осадочные чехлы, в составе которых прослеживается перемежаемость вулканогенных и осадочных пород. Сочетание интенсивного базальтового вулканизма с аренитовым типом осадконакопления в условиях мелководного седиментационного бассейна отвечает платобазальтовому эндогенному режиму (Светов, 2003).

Платобазальтовый вулканизм подробно изучался в Карелии (Светов, 1972, 1979; Светов, Свириденко, 2005). Составлены разновозрастные стратотипические разрезы (Светов, Свириденко, 1992; Раевская и др., 1992). Обоснован платобазальтовый эндогенный режим Фенноскандии (Светов, 2003) и охарактеризованы его классификационные признаки. Показано, что платобазальты являются типичными образованиями всех протоплатформенных вулканогенно-осадочных чехлов и что режимы формирования докембрийских трансрегиональных вулканогенно-осадочных чехлов отличаются чрезвычайно спокойными тектоническими обстановками колебательных движений. Тем самым установлено, что магматизм – это не только один из ведущих эндогенных процессов, но и самостоятельный тип движений. Он проявляется как автономно, так и в сочетании с другими тектоническими движениями. Необходимо учесть, что мантийный платобазальтовый магматизм представляет главную форму проявления эндогенных процессов на Земле.

Геологическая история докембрия насыщена высокопроизводительными проявлениями (циклами) платобазальтового вулкано-плутонизма. Эрозионно-тектонические останцовые структуры докембрийских вулканогенно-осадочных чехлов (позднеархейского лопийского, раннепротерозойских сариолийского и свекокарельского, позднепротерозойских рифейских и вендского) служат главными объектами изучения циклических проявлений платобазальтового вулкано-плутонизма и реконструирования географии эруптивных центров.

Платобазальты всех изученных ареалов отличает высокая петрохимическая однородность и принадлежность к типичным толеитовым базальтам в составе трех главных вулкано-плутонических серий – высокожелезистой, высокомагнезиальной и нормальной толеитовой. Их высокая петрохимическая устойчивость использована в качестве петрохимических критериев при решении вопросов стратиграфии (Светов, 1984).

Андезитовый, риодацитовый и риолит-гранитный коровый вулкано-плутонизм имеет подчиненный геологический эффект. Он проявляется на максимум

ме платобазальтового. Более того, при этом в земной коре образуются промежуточные и периферические магматические очаги, дающие начало кислому магматизму. Многолетними исследованиями установлено, что бимодальный мантийно-коровый вулкано-плутонизм происходит обычно в том случае, когда вулканогенно-осадочный чехол ложится на протокуру. В пределах Карельского геоблока он позднеархейского возраста, в пределах Свекофеннского геоблока – раннепротерозойский (Эволюция..., 1985). Кислые и основные члены бимодального магматизма (как вулканические, так и интрузивные) имеют самостоятельный (соответственно коровый и мантийный) магматический источник и самостоятельную эволюционную петрохимическую направленность.

Палеовулканологические схемы по шести возрастным срезам свекокарелия Фенноскандинавского щита (Светов, Свириденко, 2005) позволяют проследить миграцию бассейна осадконакопления и вулканизма с северо-востока в юго-западном направлении. Знаменательно, что платобазальтовый вулканизм в людиковии, ливвии и калевии в пределах одного и того же седиментационного бассейна образовывал на площади Карельского геоблока протоплатформенный вулканогенно-осадочный чехол, тогда как разновозрастные платобазальты Свекофеннского геоблока (Северное Приладожье) формируются совместно с кислой ветвью бимодального вулканизма (дациты, риолиты). Впоследствии они входят в состав гранитного слоя (Светов, Свириденко, 1992), что является следствием латеральной неоднородности мантии Земли.

Таким образом, при изучении докембрийского вулканизма Фенноскандинавского щита доказана главная корообразующая роль вулканогенно-осадочного литогенеза, приводящая к формированию разновозрастных вулканогенно-осадочных чехлов, ответственных за образование верхних слоев земной коры. Платобазальтовый эндогенный режим охватывал территории площадью в несколько сот тыс. км<sup>2</sup>. Поскольку синхронность платобазальтового вулкано-плутонизма совпадает с инверсией конседиментационного прогибания ложа седиментационного бассейна и началом регрессивного цикла осадконакопления, то он проявляется лишь в условиях декомпрессии коры и ее некоторого разуплотнения (Светов, Свириденко, 2005). Это важная особенность платобазальтового эндогенного режима.

Позднепротерозойская бимодальная габбро-анортзит-рапакивигранитная серия приурочена к краевой части Фенноскандинавского щита и к длительно развивавшейся краевой флекуре Полканова (Свириденко, 2004). В отличие от кислых пород позднеархейской и раннепротерозойской серий, позднепротерозойские кислые породы низкокальциевые с высоким содержанием щелочей и преобладанием калия над натрием.

Палеовулканологическое изучение докембрийского вулканизма позволяет геологически обосновать

вать проявление мантийного диапиризма. В палеовулканологии геотектоническому понятию «мантийный диапир» соответствует понятие вулканическая корневая «очаговая система». С использованием палеовулканологических реконструкций охарактеризован механизм формирования диапира, который представляет собой трансоровый флюидно-магматический поток, обладающий протяженной мантийно-коревой системой телескопированного питания. Интенсивный мантийный диапиризм в раннем докембрии вполне естествен, поскольку глубины Земли в ранние этапы ее развития отличались повышенной пластичностью земной коры под энергетическим воздействием недеплетированной мантии.

### **Гранитизация и ее значимость при корообразовании**

Граниты в докембрии образуются при самых разнообразных корообразующих процессах в большом диапазоне температуры и давления, являясь наиболее распространенными в верхней части земной коры. Основную роль при формировании гранитного слоя земной коры играют процессы региональной гранитизации. Это весьма сложный и длительно развивавшийся процесс, не зависящий от других коровых процессов и определяющийся состоянием мантии Земли. Следовательно, энергетический вклад мантии в образование гранитного слоя земной коры является определяющим. Он происходит посредством мантийного флюидного потока, несущего в земную кору K, Ba, Rb и другие элементы. Время его проявления в пределах Карельской гранит-зеленокаменной области (Карельский геоблок) – 2,7–2,6 млрд лет и 1,85–1,8 млрд лет – в пределах Свекофеннского геоблока.

Образование гранитного слоя земной коры определяется еще и тем, что формировавшийся ранее вулканогенно-осадочный чехол в условиях мелководного осадконакопления обогащен песчаниками, близкими по составу граниту. Большие мощности их в нижних и верхних частях разреза позднеархейского и нижнепротерозойского вулканогенно-осадочных чехлов ответственны за широкое развитие пород гранитного состава в докембрии.

Мантийный флюидный поток в условиях, когда  $P_{\text{п}} > P_{\text{общ.}}$ , приносит в земную кору также эндогенное тепло, вызывающее разуплотнение пород. В результате происходит бластез и порфиробластез осадочных пород, близких по составу граниту. Такого типа породы занимают огромные площади. Ближе всего они соответствуют названию «бластит» (Свириденко, 1980). Бластиты не образуют обособленных массивов и включают множество согласно залегающих реликтовых вулканогенно-осадочных пород. Локально проявленное дегидратационное плавление встречается лишь в центральной надочаговой зоне мантийных диапиров (Свириденко, 2008), служащих источником интенсивного теплового потока.

Мощный мантийный флюидный поток сквозь толщу горных пород обеспечивается тепловым разуплотнением. Сущность его состоит в образовании дополнительного порового пространства в результате раскрытия трещин по границам зерен. В итоге при сводовом поднятии формируются купольные структуры при пологом залегании гранитизированных пород.

Несмотря на то что процессы гранитообразования на различных уровнях глубинности зависят от локальных тектонических обстановок, многолетнее совместное изучение вулканоплутонизма и гранитообразования в докембрии Карелии показало, что главным энергоносителем, определяющим направленность процессов гранитообразования, является мантия Земли. Не имея возможности в рамках настоящей статьи рассмотреть этот вопрос подробнее, отметим лишь две главные особенности формирования докембрийской континентальной земной коры: 1) осуществляющий гранитизацию мантийный поток возможен в том случае, когда мантия еще не деплетирована (вулканогенно-осадочный слой откладывается на протогоре); 2) процессы региональной гранитизации генетически не связаны с осадконакоплением и сопровождающим его мантийным вулканизмом, поскольку они накладываются на уже сформированный вулканогенно-осадочный чехол (как позднеархейский, так и раннепротерозойский).

### **Заключение**

Настоящая статья подводит итоги многолетнего совместного изучения вулканизма и гранитообразования в докембрии. История геологического развития докембрия специфична. Именно в докембрии формируются верхние слои земной коры. Платобазальтовый эндогенный режим и эндогенный режим региональной гранитизации, действуя в архее и протерозое, обеспечили формирование этих слоев. Тектоника литосферных плит, бытовавшая в докембрии, во второй половине XX в. уходит в прошлое.

Докембрий – это время энергетически активной мантии Земли, поставлявшей на поверхность Земли базальтовый вулканизм и мантийные флюиды. Проникновение мантийной энергетики и мантийного вещества обеспечивалось посредством мантийного диапиризма. Как мантийный вулканизм, так и региональная гранитизация происходят в условиях горячих недр Земли и холодной земной коры. Формирующийся при региональной гранитизации купольный тип структур, не характерный для фанерозоя, отражает стабильные условия, когда не происходит орогенеза и горообразования. Тектонический режим в докембрии, исходя из совместного изучения тектонических режимов платобазальтового вулканизма и региональной гранитизации, можно считать кратонным.

## ЛИТЕРАТУРА

- Арестова А. А., Лобач-Жученко С. Б., Чекулаев В. П., Милькевич Р. И.* Шилосский и Костомукшский зеленокаменные пояса: пример разновозрастных архейских внутриконтинентальных рифтов // Рифтогенез, магматизм, металлогения докембрия. Корреляция геологических комплексов Фенноскандии: Материалы Междунар. конф. Петрозаводск, 1999. С. 6–8.
- Бибикина Е. В., Самсонов А. В., Петрова А. Ю., Кирнозова Т. И.* Геохронология архея Западной Карелии // Стратиграфия. Геохронологическая корреляция. 2005. Т. 13, № 5. С. 3–20.
- Виноградов А. Н., Свириденко Л. П.* Раннедокембрийские конгломераты Балтийского щита как индикаторы исходного состава первичнокоровых гранитов // Древнейшие гранитоиды Балтийского щита. Апатиты, 1979. С. 43–50.
- Восточная часть Балтийского щита: геология и глубинное строение.* Л., 1975. 161 с.
- Геология Карелии от архея до наших дней.* Петрозаводск, 2011. 218 с.
- Грачев А. Ф., Федоровский В. С.* Зеленокаменные пояса докембрия: рифтовые зоны или островные дуги? // Геотектоника. 1980. № 5. С. 3–24.
- Земная кора* восточной части Балтийского щита. Л., 1978. 231 с.
- Земная кора и металлогения* юго-восточной части Балтийского щита. Л., 1983. 304 с.
- Кожевников В. Н.* Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как орогенические домены // Рифтогенез, магматизм, металлогения докембрия. Корреляция геологических комплексов Фенноскандии: Материалы Междунар. конф. Петрозаводск, 1999. С. 62–64.
- Кожевников В. Н.* Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск, 2000. 223 с.
- Кременецкий А. А., Липидус А. В., Скрыбин В. Ю.* Геолого-геохимические методы глубинного прогноза полезных ископаемых. М., 1990. 221 с.
- Лобач-Жученко С. Б., Чекулаев В. П., Байкова В. С.* Эпохи и типы гранитообразования в докембрии Балтийского щита. Л., 1974. 205 с.
- Методика* и результаты геофизических исследований докембрийских пород восточной части Балтийского щита. Петрозаводск, 1987. 163 с.
- Раевская М. Б., Горьковец В. Я., Светова А. И., Володичев О. И.* Стратиграфия докембрия Карелии. Опорные разрезы верхнеархейских отложений. Петрозаводск, 1992. 191 с.
- Ранний докембрий* Балтийского щита. СПб., 2005. 710 с.
- Светов А. П.* Палеовулканология ятулия Центральной Карелии. Л., 1972. 118 с.
- Светов А. П.* Платформенный базальтовый вулканизм карелид Карелии. Л., 1979. 208 с.
- Светов А. П.* Платформенный вулканизм Карелии (палеовулканологические реконструкции, петрохимия, геодинамика): Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. М., 1984. 32 с.
- Светов А. П.* Платобазальтовый эндогенный режим Фенноскандии и проблемы магматической геотектоники докембрия // Вулканизм и геодинамика: Тез. докл. Екатеринбург, 2003. С. 118–122.
- Светов А. П., Свириденко Л. П.* Магматизм шовных зон Балтийского щита. Л., 1991. 200 с.
- Светов А. П., Свириденко Л. П.* Стратиграфия докембрия Карелии. Сортавальская серия свекокарелид Приладожья. Петрозаводск, 1992. 151 с.
- Светов А. П., Свириденко Л. П.* Центры эндогенной магматической активности и рудообразования Фенноскандинавского щита (Карельский регион). Петрозаводск, 2005. 356 с.
- Свириденко Л. П.* Гранитообразование и проблемы формирования докембрийской земной коры (на примере Карелии). Л., 1980. 216 с.
- Свириденко Л. П.* Протерозойский бимодальный магматизм центров активности Фенноскандинавского щита // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных ассоциаций складчатых областей. Екатеринбург, 2004. С. 175–178.
- Свириденко Л. П.* Гранитообразование восточной части Фенноскандинавского щита // Эволюция докембрийских гранитоидов и связанных с ними полезных ископаемых в связи с энергетикой Земли и этапами ее тектоно-магматической активизации. Киев, 2008. С. 30–34.
- Связь поверхностных структур* земной коры с глубинными: Материалы 14-й Междунар. конф. (27–31 окт. 2008 г.). Петрозаводск, 2008. Ч. 1. 330 с.; Ч. 2. 389 с.
- Слабунов А. И.* Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск, 2008. 296 с.
- Слабунов А. И.* Архейские вулканогенные и метаморфические комплексы Беломорской провинции Фенноскандинавского щита – индикаторы субдукционной геодинамики // Современные проблемы магматизма и метаморфизма. Т. 2. СПб., 2012. С. 241–243.
- Шаров Н. В.* Глубинные сейсмические исследования в центральной части Карельского кратона // Физика Земли. 2013. № 1. С. 1–17.
- Эволюция докембрийского магматизма* (на примере Карелии) / Л. П. Свириденко, А. П. Светов и др. Л., 1985. 250 с.
- Mutanen T., Huhma H.* The 3.5 Ga Siurua trondhjemite gneiss in the Archaean Pudasjarvi Granulite Belt, northern Finland Bull // Geol. Soc. Finl. 2003. Vol. 75 (1–2). P. 51–68.