Литература

1. Вертикальная аккреция земной коры: факторы и механизмы // Труды ГИН РАН, вып. 542 / Отв.ред. М.Г.Леонов. М.: Наука, 2002. 461 с.

2. Геология и полезные ископаемые России. Т. 5. Арктические и дальневосточные моря. Кн.1. Арктические моря / Ред. И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е. Погребицкий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004, 468 с.

3. *Левский Л.К., Столбов Н.М., Богомолов Е.С. и др.* Sr-Nd-Pb изотопные системы базальтов архипелага Земля Франца-Иосифа // Геохимия. 2006. № 4. С. 365–376.

4. *Пирожников Л.П.* Горелые породы из морского нижнего волжского яруса о.Бергхауз (архипелаг Земля Франца-Иосифа) // ДАН СССР. 1961. Т. 140. № 2. С. 448–450.

5. *Старк А.Г., Шкатов Е.П., Кузнецова Л.А.* Новые данные о геологическом строении северной окраины Баренцевоморского шельфа по сейсмическим исследованиям // Разведка и охрана недр. 1999. № 7–8. С. 21–24.

6. *Столбов Н. М.* Дискретность базитового магматизма архипелага ЗФИ // Актуальные проблемы региональной геологии Баренцево-Карского шельфа и прилегающей суши. Тез. докл. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1997. С. 64–65.

7. *Столбов Н.М.* Архипелаг Земля Франца-Иосифа –геологический репер Баренцевоморской континентальной окраины // Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. геол.-мин. наук. СПб.: СПбГУ, 2005. 19 с.

8. *Столбов Н.М., Устинов Н.М., Голубкова Е.Ю.* Какого возраста отложения складчатого фундамента архипелага Земля Франца-Иосифа? // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2006. Вып. 6. С. 145–148.

9. *Чернышева Е.А., Харин Г.С., Столбов Н.М.* Новые данные по геохимии базальтов архипелага Земля Франца-Иосифа // Докл. РАН. 2003. Т. 390. № 2. С. 238–241.

Некоторые закономерности формирования полезных ископаемых Беломорского региона при эксгумации метаморфических пород

Терехов Е.Н.

Геологический институт РАН, г. Москва, tereh@ilran.ru

Проблема вывода глубокометаморфизованных пород к поверхности (эксгумация) долгое время умалчивалась по ряду причин и, прежде всего, ввиду отсутствия ясного структурного механизма реализации этого процесса. Если для молодых складчатых поясов эта проблема в последние 10–15 лет, стала активно развиваться под влиянием успехов фиш-трекового анализа, то в отношении докембрийских образований для которых эта методика не работает, всё остаётся по-прежнему. Большая часть исследователей продолжает верить, что длительная эрозия могла уничтожить верхнюю часть разреза и глубинные части наиболее активных блоков вышли к поверхности. Геологические данные противоречат этому. Так как, нет тех гигантских объемов осадочных пород, которые образовались бы при размыве 20–30 км разреза коры, например над Лапландско-Беломорским подвижным поясом (ЛБПП). Однако, всегда находятся исследователи, которые «раскидывают» эти объёмы по всей площади Восточно-Европейской платформы (ВЕП), а частично погружают их в зоны субдукции. Но главное то, что в период 1.9-1.8 млрд. лет назад породы ЛБПП находились в условиях P и T параметров (7–10 кбар и 600–800 град), которые отвечают глубинам 20–30 км, а к рубежу 1.8-1.7 млрд. лет они уже были в условиях хрупких деформаций или вообще на поверхности, так как секутся гипабиссальными постскладчатыми интрузиями этого возраста. То есть, за период менее чем 100 млн. лет глубинные породы вышли к поверхности. Максимальные скорости эрозии на Земле отмечены в Гималаях (до 3-4 км в 1 млн. лет). Поэтому и в отношении ЛБПП, можно при желании допускать подобные скорости, но основная проблема в захоронении осадочных пород не решаема, так как именно в этот период кроме сравнительно небольшой Петрозаводской мульды не было бассейнов осадконакопления. Авлакогены, в которые можно было бы погрузить осадочный материал от этой гигантской эрозии, появились на ВЕП только через 500 млн. лет. Поэтому необходим принципиально иной подход к решению данной проблемы.

Автор в последние 10 лет развивает модель тектонического вывода метаморфических пород ЛБПП к поверхности в обстановке растяжения [10]. Эксгумация происходит при эволюции пологих сбросов и сопряженных с ними валообразных структур напоминающих «комплекс метаморфических ядер» [8]. Подобные построения разрушают стереотипы о структурно-вещественной эволюции ЛБПП в частности и других подвижных поясов докембрия вообще, которые основаны на многократных этапах сжатия. На самом деле складчатость и даже надвигообразование, а также высокий метаморфизм не обязательно являются следствием режима сжатия, а такое понятие как карельская складчатость вообще не должно ассоциироваться со словом коллизия. В настоящее время, для многих минералов, формирование которых связывалось с аномально экстремальными условиями, показано, что они могут образовываться при низких давлениях. Так, для формирования алмаза не нужны сверхдавления и он может образовываться в любых и даже в приповерхностных обстановках, то же можно говорить и о его спутнике муассоните [3]. Оказалось, что большое количество минералов, такие как: гранат, кианит, сапфирин, корунд, силлиманит, шпинель, предпочтительнее образуются не на пике метаморфических преобразований, а на их спаде [12]. Всё это подрывает «устои» моделей сжатия в геодинамике. Поэтому настало время обсудить некоторые вопросы образования полезных ископаемых в связи с эксгумацией больших масс глубинных пород, происходящих в обстановке растяжения.

Пожалуй, наиболее эффектным примером связи эксгумации с формированием полезных ископаемых являются разнообразные пегматиты Памиро-Гималайского складчатого пояса. Именно, в связи с тектоническим подъёмом кристаллических пород этого пояса в неогеновое время произошло их массовое формирование. Причем пегматиты и другие метасоматиты образовывались не только в кристаллических породах, но в вышележащих комплексах. Следует отметить, что эксгумация метаморфических пород этого пояса, по мнению всё большего количества исследователей происходила в обстановке растяжения, причины которой во многом остаются не совсем ясные, а не сжатия как это ранее предполагалось в моделях коллизии. На Балтийском щите, пегматиты Беломорского и Ладожского поясов являются хорошим примером подобной модели. Ранее формирование этих пегматитов связывали с ультраметаморфизмом вмещающих пород, но в последствии была предложена модель их формирования в условиях диафтореза [6]. Модели постультаметаморфических преобразований всегда активно обсуждались отечественными исследователями докембрия [1], но тектоническая основа этих построений была весьма неопределенная, как правило, геосинклинальная. Идеи о тектонической эксгумации происходящей в обстановке растяжения, заставляют взглянуть на формирование множества видов полезных ископаемых с принципиально новых позиций и соответственно поисковые критерии должны измениться. Важнейшим аспектом эксгумации является декомпрессия, что приводит к массовому выбросу флюидов. Интересно, что множество искусственных драгоценных камней выращивается в условиях, когда горячий флюид вырывается под давлением и уже при низких давлениях на специальных затравках осаждает полезный компонент. С помощью подобной методики выращиваются алмазы, сапфиры и рубины, муассонит и другие минералы [3]. Другим важным аспектом эксгумации является изменение координационного числа многих минералообразующих химических элементов и, прежде всего алюминия и магния. Следствием этого является не только изменения объема пород, но и усиление миграционной активности того или иного элемента или их соединений. Для восточной части Балтийского щита известно много объектов, в которых по краям блоков сложенных высокометаморфизованными породами, развиты образования с гигантскими кристаллами кианита метасоматической природы [13]. В этих породах содержания глинозема достигают 30 и более процентов. Подобные проявления известны вдоль всех границ Беломорского пояса, а возраст кианитового метасоматоза – 1.8 млрд. лет [7], что соответствует времени эксгумации глубинных пород. Ранее эти породы рассматривались как метаморфизованные коры выветривания, что, на мой взгляд, являлось данью геологической моде, а именно направлению «Осадочная геология в докембрии». Аномальные концентрации глинозема в виде кианит-, гранат- и силлиманитсодержащих пород известны вдоль границ и других воздымающихся блоков глубинных пород. Это Кейвские месторождения кианита вдоль Мурманского блока, Малокейвское вдоль Пурначского массива, проявления: Три Брата, Вырнимское, Корватундровское, Карасйокское вокруг Лапландского пояса. Но и в самих блоках глубинных пород, при их эксгумации, в отдельных зонах

образовывались породы с аномально высокими содержаниями глинозема –корундиты, кианититы и гранатиты [12]. Поэтому можно утверждать о повышенной способности глинозема к миграции в этот период. Бокситы, так же часто формируются по краям блоков, сложенных кристаллическими породами, а их осадочные модели образования, во многом не безупречны. С традиционных позиций не объяснимы и постоянные находки в них корундов [9]. Можно предполагать, что и другие химические элементы становятся подвижными при эксгумации и декомпрессии глубинных пород. Так, для этого этапа эволюции ЛБПП зафиксирован вынос и переотложение элементов платиновой группы (ЭПГ). В Карело-Кольском регионе повышенные содержания ЭПГ характерны для интрузивных пород сумия (2.5-2.45 млрд. лет). Это расслоенные интрузии и друзиты. Для тех и других кроме повышенных концентраций характерно преобладание палладия над платиной [4]. Подобное распределение с повышенной концентрацией благородных металлов получено и для корундсодержащих синэксгумационных метасоматитов, а источником ЭПГ вероятно служили друзиты в контакте с которыми развиты указанные метасоматиты. Комплексные уран-ванадиевые руды с ЭПГ специализацией известны в Заонежье, где они приурочены к альбит-карбонатно-слюдистым метасоматитам (с гранатом и турмалином). Метасоматиты локализованы в пределах линейных зон складчато-разрывных дислокаций центральной части Онежской мульды [2], которая в свою очередь является важным элементом Онежской кольцевой структуры. Последняя, по своему генезису тождественна таким кольцевым структурам как: Инари, Кандалакшская, Беломорская, которые образованы за счет вывода или поднятия глубинных масс по механизму образования комплекса метаморфических ядер. В отличие от указанных структур, в Онежской, глубинные породы за редким исключением не вышли к поверхности, но мобилизация многих элементов, в том числе и ЭПГ произошла и они вместе с декомпрессионными флюидами устремились вверх и в благоприятных условиях (толща шунгитов) осадились в виде жил и зон метасоматоза. Поэтому и в этой структуре формирование метасоматитов и, следовательно, месторождений полезных ископаемых подчинено эксгумации глубинных комплексов. Концентрации ванадия и хрома во многих породах, также связаны с процессами эксгумации, причем закономерности их миграции, во-многом, остаются не ясными. Так большая часть гранатитов в лапландском и беломорском комплексах истощены ванадием и хромом, тогда как по периферии ЛБПП развиты фукситовые сланцы обогащенные хромом, а ванадий был перемещен еще выше по разрезу, где образовывал жилы, подобные Онежским месторождениям. Косвенным доказательством наличия синэксгумационных флюидных потоков являются, на мой взгляд, кислые породы с положительной Eu аномалией, которые слагают позднескладчатые вертикальные жилы и метасоматические зоны в беломорском и лапландском комплексах. Эти, специфического состава породы, слагают бывшие зоны флюидного дренажа, который имел место на заключительных этапах формирования ЛБПП, то есть во время эксгумации. На глубинах 30-20- (10?) км флюид имел восстановленную природу и он выносил из породы все микроэлементы (исключая Eu) и переносил их к поверхности, где он окислялся и осаждал переносимые компоненты [11, 12].

С процессами эксгумации в той или иной форме связано и формирование такого важного типа как «месторождения несогласия». Это – крупные месторождения урана и золота приуроченные к подошве мульдообразных структур, сложенными протерозойскими осадками, полого лежащими на архейском фундаменте [5]. Ранее считалось, что чем больше перерыв в осадконакоплении между двумя комплексами, тем лучше были условия для образования месторождений и тем более перспективна площадь. Поэтому, общая идея формирования этих месторождений привязывалась к осадочному процессу: денудация, многократное переотложение, захоронение и миграция полезных компонентов. Однако, в настоящее время появляется все больше сомнений в простой осадочной схеме. Так многие месторождения и проявления урана находятся не в самих породах мульд, а в фундаменте в сотнях метрах от контакта, а время формирования этих месторождений не отвечает одному временному рубежу, а растянуто на несколько этапов. Можно предполагать, что слабодислоцированные отложения подобных мульд играли роль экранов и осадителей, например конгломераты, для флюидов образовавшихся при эксгумации соседних блоков. Подобные проявления известны в северном обрамлении песчаников терской свиты на Кольском полуострове. Следует отметить, что процессы эксгумации связанные с формированием сбросов начались в

архее, а глубина проникновения сбросов все время росла, и соответственно к поверхности выводились все более и более глубинные образования. Так, гранулиты появились на поверхности Балтийского щита только в протерозое. Соответственно менялся состав эксгумационных флюидов и набор тех элементов, которые они выносили. Например, золото в архее и уран в протерозое. Некоторые месторождения связаны с процессами эксгумации апосредственно. Исследования показывают, что образование девонских щелочных интрузий Карело-Кольского и Архангельского региона связано с наличием обогащенной мантии. Причем время этого обогащения, скорее всего метасоматического, произошло 1.9-1.8 млн. лет назад, то есть в период эксгумации глубинных пород ЛБПП, к которому и приурочено большинство этих интрузий. Можно предполагать, что метасоматические процессы, связанные с эксгумацией развивались не только в породах находившихся на глубинах 0-30 км, которые сейчас встречаются на ее поверхности, но и на глубинных уровнях, которые затем и стали источником щелочных магм.

Таким образом, эксгумация крупных масс средне-нижнекоровых образований приводит не только к выбросу декомпрессионных флюидов, что способствует повышению температуры в вышележащих комплексах, но и усилению миграционной способности химических элементов, обусловленной изменением координационных чисел в связи с уменьшением давления. В тоже время в режиме растяжения формируются типичные структуры: лежачие складки, сбросы, локальные надвиги, купола и прогибы, которые в свою очередь контролируют формирование метасоматитов и связанных с ними проявлений полезных ископаемых. Всё это указывает на важность изучения процессов эксгумации для понимания закономерностей формирования многих типов полезных ископаемых.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОНЗ РАН №14 и гранта № 06-05-64848.

Литература

1. *Глебовицкий В.А., Бушмин С.А.* Послемигматитовый метасоматоз. Л.: Наука. 1983. 216 с.
2. *Голубев А.И.* Комплексные платинометальные месторождения Карелии и перспективы их освоения // Тр. Кар.НЦ РАН, 2006. Вып. 9. С. 36–49.
3. *Гулий В.Н.* Поля стабильности алмаза и разработка критериев прогноза и поиска потенциальных алмазных месторождений Матер. 2-ой межд.конференц. «Прогнозирование и поиски коренных и россыпных алмазных месторождений. Киев УкрГГРИ, 2006. С.18–37.
4. *Митрофанов Ф.П., Яковлев Ю.Н., Балабонин Н.Л.* и др. Кольская платиноносная провинция. В кн.: Платина России. М., 1994. С. 66–77.
5. *Молчанов А.В.,Коваль С.Г.,Ходжаев Д.К., Лазарев Ф.Д.* Перспективы выявления высокорентабельных урановых и комплексных месторождений «типа несогласия» на Анабарском щите // Прикладная металлогения. 2006. С. 5–15.
6. *Салье М.Е., Батузов С.С., Душейко С.И.* и др. Геология и пегматитоносность беломорид. Л.: Наука, 1985. 251 с.
7. *Сергеев С.А., Лобач-Жученко С.Б.* Возраст фукситовых метасоматитов Хизоваары (Северная Карелия) по результатам U-Pb- датирования единичных зерен циркона ДАН. 1993. Т.333. № 1. С. 73–75.
8. *Скляров Е.В., Мазукабзов А.М., Мельников А.И.* Комплексы метаморфических ядер кордильерского типа. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГМ, 1997. 182 с.
9. *Сульман А.М.* Постдиагенетические изменения бокситов аркалыкского месторождения // Геология и геохимия бокситов, латеритов и генетически связанных с ними пород. Сб. статей. Свердловск, 1976. С. 93–107.
10. *Терехов Е.Н.* Геологическое строение Лапландско-Беломорского пояса и роль процессов растяжения в его эволюции. Автореферат дис. Докт. геол-мин.наук М.: Изд-во «Пробел-2000», 2003.49 с.
11. *Терехов Е.Н.* К проблеме происхождения кислых пород с положительной Eu-аномалией –индикаторов процессов растяжения (восточная часть Балтийского щита) // ДАН. 2004. Т. 397. №5. С. 675–679.
12. *Терехов Е.Н.* Особенности распределения РЗЭ в корундсодержащих и других метасоматитах периода подъёма к поверхности метаморфических пород Беломорского пояса (Балтийский щит) // Геохимия. 2007. № 4. С. 411– 428.
13. *Щербакова Т.Ф., Терехов Е.Н.* Геохимическая характеристика глиноземистых плагиогнейсов: к вопросу о происхождении кианитсодержащих пород Беломорского пояса // Геохимия. 2004. № 6. С. 611–631.