

МАГМАТИЗМ И МЕТАМОРФИЗМ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ (по материалам XI Всероссийского петрографического совещания)

Н.И. Гусев, ¹ А.И. Гусев

Всероссийский геологический институт, г. Санкт-Петербург

¹ Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, г. Бийск

24-28 августа 2010 года в Екатеринбурге состоялось XI Всероссийское петрографическое совещание с участием зарубежных учёных. Обсуждались следующие проблемы:

1. Глубинная геодинамика и дифференциация вещества Земли.
2. Магматические и метаморфические породы как индикаторы разных геотектонических режимов.
3. Серии магматических пород и их происхождение.
4. Петрогенезис магматических и метаморфических пород.
5. Физико-химические проблемы петрологии и новые методы изучения пород и минералов.
6. Магматизм и рудоносность (общие вопросы).
7. Принципы классификации и номенклатуры горных пород.
8. Магматизм, метаморфизм и рудоносность Урала.

В докладе *А.А. Монгуш, В.И. Лебедева, В.П. Ковача и др.* «Субдукционно-связанные и внутриплитные раннекембрийские вулканы таннуольской зоны (Алтае-Саянская складчатая область)» отмечено, что для рубежа раннего и среднего кембрия наблюдается пространственное совмещение субдукционно связанного и внутриплитного магматизма в островодужных структурах Ондумской зоны Тувы - надсубдукционные базальты ильчирской свиты с археоциатовой фауной и внутриплитный Зубовский габбро-монцодиоритовый массив с возрастом 512 ± 6 млн. лет (Ar-Ar метод по роговой обманке), Озерной зоны и Монгольского Алтая Западной Монголии - Урэг-Нурская пикритовая вулканоплутоническая ассоциация с возрастом 512 ± 6 млн. лет (Ar-Ar метод по роговой обманке) в составе преддугового аккреционного комплекса, а также Катунской зоны Горного Алтая. Пространственное совмещение рассматриваемых типов магматизма находит свое объяснение в рамках геодинамической модели формирования каледонид ЦАСП, согласно которой аккреционно-коллизийные процессы, вызванные столкновением островных дуг и микроконтинентов с океаническими островами и лавовыми плато, сопровождались перекрытием формирующегося каледонского супертеррейна проекции Северо-Азиатского горячего поля мантии. Отмеченный выше возраст внутриплитного магматизма показывает, что на рубеже раннего и среднего кембрия, около 512 млн. лет назад, соответствующие районы каледонского супертеррейна перекрыли Алтае-Саянскую горячую точку мантии. Внутриплитные базиты Кадвойского участка, судя по палеонтологическому возрасту вмещающей свиты, начали формироваться еще раньше – в середине раннего кембрия.

В сообщении *А.В. Наставко, Е.В. Бородиной, А.Э. Изоха* «Петрологические особенности траппов центральной части Кузбасса» представляется, что геологические (характер отдельности) и петрографические (степень раскристаллизованности) особенности позволяют сделать вывод о том, что базальтовые тела, вскрытые Караканским и Елбакским карьерами, представляют собой покровы. Однородный петролого-минералогический состав траппов

как по разрезу, так и по площади указывает на отсутствие процессов коровой контаминации и дифференциации расплавов в промежуточных камерах. Отсутствие фенокритов и ксенолитов также свидетельствует о формировании базальтов без участия эволюции расплавов в промежуточных камерах. Толеитовые траппы Кузбасса образовались во внутриплитной геодинамической обстановке при воздействии пермотриасового суперплюма. Деpletedность базальтов и силлов Кузбасса тяжелыми лантаноидами свидетельствует о присутствии граната в мантийном источнике родоначальных расплавов этих пород. Такие геохимические особенности, как минимумы по Nb, Ta, и Ti, обусловлены особенностями состава мантийного источника и, вероятно, связаны, с окислительно-восстановительными условиями мантийного плавления. Сходство геохимических особенностей базальтов Кузбасса и одно-возрастных силлов базитового состава может свидетельствовать об их комагматичности.

В сообщении *Н.И. Гусева* «Возраст (U-Pb, SHRIMP-II), петрология и мантийные источники палеозойских и мезозойских даек долеритов в Ю-В Алтае» приведены новые данные изотопного датирования. В Делюно-Юстыдском прогибе Юго-Восточного Горного Алтая два комплекса даек базитов отличаются по геологическим взаимоотношениям с интрузивами гранитов. Один комплекс даек долеритов (караюкский) предшествует интрузивам позднедевонского юстыдского гранит-лейкогранитового комплекса, другой – прорывает граниты. Догранитные дайки долеритов по времени формирования (все определения возраста U-Pb методом по цирконам, SHRIMP-II) – $375,1 \pm 5,4$ млн. лет (СКВО = 0,36) – являются позднедевонскими и близки к возрасту гранитов юстыдского комплекса. Возраст гранитов по пяти пробам составляет $375,4 \pm 5,5$ млн. лет (СКВО = 0,32-0,77). Постгранитные дайки долеритов с возрастом $210,7 \pm 5,4$ млн. лет (СКВО = 0,0034) являются производными самостоятельного позднепермского магматизма. По изотопному составу Nd и Sr для позднедевонских долеритов ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1242$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512851$; $\epsilon\text{Nd}(0) = +4,2$; $\epsilon\text{Nd}(T_{375}) = +7,6$; $\epsilon\text{Sr}(T_{375}) = -3,64$) и позднепермского комплекса ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1256$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512994$; $\epsilon\text{Nd}(0) = +6,9$; $\epsilon\text{Nd}(T_{210}) = +8,9$; $\epsilon\text{Sr}(T_{210}) = +39,82$) определен мантийный источник типа PREMA – универсальный компонент мантийных плюмов. Позднепермские долериты имеют примерно одинаковый уровень $\epsilon\text{Nd}(T)$ с позднедевонскими долеритами, но обогащены «коровым» радиогенным стронцием. Обе серии долеритов обогащены крупноионными элементами: Cs, Rb, K, Ba, Pb.

В позднепермских долеритах проявлена отрицательная аномалия Ta и Nb, отсутствующая в позднедевонских. Биотитсодержащие позднепермские долериты отличаются повышенным содержанием K_2O (1,16-1,54 %) и особенно Rb (151-199 г/т). При этом в долеритах позднедевонского комплекса даже при вдвое более высоком содержании K_2O (2,9-2,95 %), содержания Rb не превышают 72-93 г/т. По соотношению высокозарядных элементов (HFSE) позднедевонские долериты классифицируются как производные плюмового источника OIB-типа, в то время как позднепермские более разнородны и тяготеют к производным примитивной и depleted верхней мантии. Позднедевонские долериты, обогащенные легкими РЗЭ в сочетании с повышенными содержаниями Nb (>20 г/т) и высокими отношениями $(\text{Nb}/\text{La})_{\text{pm}} = 1,36-1,58$, относятся к высокониобиевым базальтам (HNB-типу). В позднепермских долеритах отношение $(\text{Nb}/\text{La})_{\text{pm}}$ варьирует от 0,52 до 1,3, что позволяет классифицировать их как обогащенные Nb базальтоиды (NEB-тип).

Для высоко-Nb базальтов считается, что их источник находится в астеносферной мантии. Это очевидно подтверждается для позднедевонского комплекса, долериты которого размещаются в поле лав провинции Бассейнов и Хребтов (США), производных астеносферной мантии, на траектории обогащенного (EM) мантийного источника, идентичного источнику обогащенных базальтов E-MORB-типа. Позднепермские долериты имеют характеристики, свойственные плавлению depleted источника DMM-типа. Уточнение состава мантийного источника по соотношению Sm/Yb и La/Sm показывает, что позднедевонские доле-

риты соответствуют тренду с 2 % степенью частичного плавления шпинель-гранатового лерцолита при соотношении 50/50 и более в пользу шпинелевого лерцолита. Позднетриасовые долериты за счет повышенного отношения Sm/Yb тяготеют к линии плавления шпинелевого лерцолита в источнике типа DMM. По соотношению Sm и Rb обе серии эволюционировали с сохранением Sm на одном уровне или его слабым снижением по мере роста Rb, что объясняется формированием остаточного граната и фракционированием амфибола – признак кристаллизации водной ассоциации.

Во временном диапазоне поздний девон – поздний триас в Юго-Восточном Горном Алтае фиксируется эволюция источника мантийных базитовых магм, от обогащенного (EM) к деплетированному (DMM). Содержания Ni в позднетриасовых долеритах в три раза выше, чем в позднедевонских. Наличие в Горном Алтае Ni-Au-Te оруденения (Елангашское проявление) с возрастом 210-213 млн. лет позволяет предполагать его связь с позднетриасовым базитовым магматизмом.

В докладе *А.Э. Исоха, Г.В. Полякова* «Эволюция ультрабазит-базитового магматизма крупных изверженных провинций Азии» приведены данные, указывающие на плюмовый источник магматизма. Для Сибирского суперплюма раннему этапу отвечает формирование субщелочных базитов Каменской провинции (260 млн. лет). В Колывань-Томской складчатой зоне на этом возрастном уровне фиксируются дайковые комплексы, наиболее ранний из которых - ташаринский пикродолеритовый (252,6±1,4; 255±5,5 млн. лет). Близкие по возрасту дайки и силы долеритов (259,1±3,4 млн. лет, Ar-Ar метод) установлены в Горловском прогибе, разделяющем структуры Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны. Основной объем траппов, включая рудоносные пирит-долеритовые интрузивы Норильского района и маймечиты Маймеча-Котуйского района, отвечают пермо-триасовому рубежу (250 млн. лет). Время формирования основного объема траппов Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты укладывается в довольно узкий интервал 251,7-248,0 млн. лет при общем разбросе изотопных датировок 253-245 млн. лет. Щелочно-ультраосновные интрузии Маймеча-Котуйской провинции имеют возраст 251,7-251,4 млн. лет (U-Pb), а связанные с ними карбонатиты – 250,2 млн. лет (U-Pb, Гулинский массив).

На завершающем этапе происходило внедрение высококальциевых лампрофировых даек Горного Алтая (236 млн. лет) и Таймыра. В Томском дайковом ареале проявлены долериты, микрогаббро, монцодиориты (возраст 241,6±2,7; 238,0±5,2 млн. лет) и керсантиты (242,6±2,3 млн. лет, Ar-Ar метод). В Новосибирском ареале установлены долериты, микрогаббро, монцодиориты, диоритовые порфириты и спессартиты, отмечались одиниты и минетты.

В сообщении *А.И. Гусева* «Типы гранитоидов на основе составов биотитов» приведены средние составы (по 2625 анализам, в том числе и Алтае-Саянского региона) и диаграмма, позволяющая проводить дискриминацию стандартных типов гранитоидов – мантийных (M), адакитовых (AD), I, S, шошонитовых (SH), анорогенных (A).

В докладе *С.Н. Руднева* «Раннепалеозойский магматизм АССО и Монголии» приводятся данные по возрасту и особенностям формирования крупных базитовых и гранитоидных батолитов региона.

Результаты изотопного датирования (U-Pb, Ar-Ar, Sm-Nd, Rb-Sr методы) интрузивных ассоциаций и анализ всей имеющейся геохронологической информации по базитовым и гранитоидным комплексам показывают, что их формирование происходило в широком возрастном диапазоне от 570 до 440 млн. лет. В этом возрастном интервале выделяется несколько рубежей гранитоидного и базитового магматизма, которые отражают закономерную смену геодинамических обстановок от островодужной к аккреционно-коллизивной.

На островодужном этапе (570-520 млн. лет) гранитоидный и ультрабазит-базитовый магматизм проявился в небольших масштабах и имел ареальный характер развития среди вмещающих венд-раннекембрийских вулканитов. В этом возрастном диапазоне интрузив-

ный магматизм прослеживается на двух рубежах – 570-560 и 550-520 млн. лет. На раннем этапе островодужный магматизм проявился, как правило, в виде серии мелких массивов, в то время как на позднем этапе объемы гранитоидного магматизма резко возрастают и представлены крупными плутонами.

С аккреционно-коллизионным этапом (510-440 млн. лет) в АССО и Западной Монголии связано широкомасштабное гранитообразование. Оно выразилось в формировании крупных гранитоидных батолитов, становление которых связано с процессами аккреции и коллизии островных дуг, задуговых бассейнов, океанических поднятий и микроконтинентов, происходящими на фоне субсинхронного базитового (мантийного) магматизма. Выделяется три рубежа гранитоидного и базитового магматизма – 510-490, 480-470, 460-440 млн. лет. При переходе от рубежа к рубежу наблюдается возрастание объемов гранитоидного магматизма, максимум которых приходится на средний-поздний ордовик.

В докладе *С.В. Хромых, Н.Н. Крука, И.В. Семенова* «Габбро-сиенит-гранитоидные интрузии Алтайской коллизионной системы герцинид: механизмы мантийно-корового взаимодействия» приведены новые данные по габбро-гранитоидным комплексам региона.

В пределах Рудного Алтая проявлена цепочка из пяти небольших массивов харловского комплекса, наиболее крупным является Харловский массив площадью около 10 км². По имеющимся данным, он сложен породами четырех интрузивных фаз: оливиновыми меланогаббро и троктолитами, диоритами, монцодиоритами и присутствующими в небольшом количестве граносиенитами. Вещественный состав габброидов характеризуется повышенными содержаниями титана, железа, калия и фосфора, крупноионных и высокозарядных литофильных элементов (в том числе Nb и Ta) и отвечает субщелочной серии. Кислые породы наследуют геохимические характеристики базитов, что свидетельствует о значительной роли процессов дифференциации при становлении массива. Возраст Харловского массива, определенный по цирконам из монцодиоритов, составляет 328±2 млн. лет, что совпадает с началом коллизии Сибири и Казахстана.

В северной части Горного Алтая расположен Айский сиенит-граносиенит-гранитный массив площадью около 70 км². В его строении участвуют ранние габбро и пироксеносодержащие сиениты, сменяющиеся кварцевыми сиенитами, граносиенитами, гранитами и лейкогранитами. Вещественный состав характеризуется в целом повышенной щелочностью с преобладанием калия над натрием, повышенными содержаниями фосфора, в сиенитах и габбро отмечаются высокие концентрации Ba и Sr. Петролого-геохимические исследования пород позволили установить, что образование граносиенитов и гранитов было связано с анатексисом субстратов континентальной коры, в той или иной степени метасоматически преобразованных отделяющимися от базитовых магм летучими. Возраст Айского массива определен по цирконам из сиенитов и составляет 249±5 млн. лет.

В центральной части Горного Алтая в пределах Курайского хребта находится Теранжикский массив площадью 3 км². Наиболее полные геологические и петрографические данные о строении массива получены А.И. Родыгиным. Массив сложен породами четырех интрузивных фаз: оливинсодержащими габбро и монцодиоритами, сиенитами, адамеллитами и гранитами, внедрившимися в гомодромной последовательности. Вещественный состав основных и средних пород характеризуется повышенными содержаниями калия и фосфора. По геологическим данным, Теранжикский массив существенно моложе вмещающих его раннепалеозойских метаморфических толщ и гранитоидных массивов Курайского хребта, по неопубликованным данным Н.И. Гусева (ВСЕГЕИ), возраст его, определенный К-Аг методом по амфиболу и биотиту из сиенитов, составляет 253-251 млн. лет. Эта дата совпадает с возрастом Айского массива и соответствует масштабному проявлению внутриплитного магматизма на Сибирской платформе и в ее обрамлении, обусловленного активностью Сибирского суперплюма.

Для всех приведенных массивов можно отметить общие закономерности: три или более интрузивные фазы в составе, гомодромную последовательность внедрения, повышенную щелочность, в том числе калиевость, а также бимодальность состава с обособленными габбро-монцонит-сиенитовой и сиенит-граносиенит-гранитной группами пород. В кислых разностях поведение редких элементов, как правило, не коррелируется с базитовой частью серий, что свидетельствует о некоторой автономности гранит-сиенитовых магм. Однако среди постгранитных даек присутствуют породы с геохимическим составом, идентичным базитам ранних фаз, что доказывает близодновременное формирование всех пород в рамках единой магматической колонны. Отметим, что от карбона к перми увеличивается объем кислых пород в составе габбро-гранитных серий. Кроме того, наблюдается последовательная смена механизмов корово-мантийного взаимодействия: от преобладания процессов дифференциации через процессы смешения мантийных и коровых магм (*magma-mixing* и *magma-mingling*) к «автономному» коровому анатексису, проходящему за счет тепла мантийных магм при ограниченной роли флюидов.

В докладе *А.И. Гусева, Н.И. Гусева* «Петрология и геодинамика золото-обогащённых магмо-рудно-метасоматических систем Рудно-Алтайского металлогенического пояса» приведены петрологические особенности магмогенерации рудогенерирующих магматитов.

В Рудном Алтае золото-обогащённые колчеданные месторождения встречаются часто и являются предметом промышленного извлечения золота и серебра. Имеются и месторождения, в которых золото содержится в незначительных количествах. В этой связи возникла проблема изучения этих систем с оценкой петрологических критериев повышенной золотоносности. Как известно, в Рудном Алтае выделяется несколько временных уровней распространения стратифицированных вулканитов и колчеданного оруденения. При этом происходит омоложение возраста вулканогенных пород и руд в пределах Рудно-Алтайского металлогенического пояса от Лениногорского района в обе стороны - на северо-запад (Алтайский край) и юго-восток (Китай). Золото-обогащённая минерализация ассоциирована с наиболее кислыми (мельничная и крюковская свиты) вулканическими центрами эмс-эйфельской вулканической фазы (Лениногорский, Зыряновский рудные районы Казахстана, Змеиногорский). Вулканогенные массивные сульфидные (VMS) месторождения с заметно меньшими концентрациями золота Прииртышского, Золотушинского, Рубцовского и Ашельского (Китай) рудных районов связаны с последующим живет-франскими бимодальными базальт-риолитовыми вулканическими породами. Кроме того, в пределах конкретных рудных узлов наблюдается закономерность – наиболее золото-обогащёнными являются самые ранние фазы вулканогенно-гидротермальной деятельности, а более поздние характеризуются заметно пониженной золотоносностью. Следует отметить, что в самых ранних и нижних горизонтах кислых лав (дацитах, риодацитах, риолитах) отмечаются самые высокие суммарные содержания редкоземельных элементов. При этом в лавах мельничной свиты (Российская часть Рудного Алтая) и в эффузивах крюковской свиты (территория Казахстана) наблюдаются примерно одинаковые суммарные содержания TR.

Риолиты и риодациты золото-обогащённых колчеданных объектов тяготеют к источнику обогащённой мантии, в то время как незолотоносные образования ближе к источнику верхней коры.

Таким образом, кислые вулканиты золото-обогащённых колчеданных месторождений (VMS) в Рудно-Алтайском металлогеническом поясе относятся к самым ранним по времени формирования. Их геодинамическая обстановка формирования близка к внутриплитной и аномальных океанических хребтов, в то время как поздние вулканиты (начиная с живета) и связанные с ними слабо золотоносные месторождения близки к обстановке вулканических островных дуг.