

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИТОИДНЫХ БАТОЛИТОВ

Владимиров^{1,2,3} А.Г., Травин¹ А.В., Полянский¹ О.П.

¹*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,
e-mail: Vladimir@igm.nsc.ru*

²*Новосибирский Национальный исследовательский государственный университет,
г. Новосибирск, e-mail: pashkova@lab.nsu.ru*

³*Томский Национальный исследовательский государственный университет,
г. Томск, e-mail: labsmp@ggf.tsu.ru*

В истории геологического развития Земли ключевое значение имеют орогенно-складчатые сооружения фанерозойского возраста. Традиционно выделяются надсубдукционные, трансформные и коллизионные орогены, специфика которых рассматривается в [Şengör et al., 1993; Добрецов и др., 1994; Хаин и др., 1996; Лобковский и др., 2004; Xiao et al., 2004, 2009; Yuan et al., 2007; Windley et al., 2007]. При построении геодинамических моделей орогенеза на первое место выходит проблема зарождения, подъема, становления и тектонического экспонирования гранитоидных батолитов, которые являются прямым петрологическим индикатором скупивания и последующего тектонического растяжения континентальной литосферы. Изучение тектонической позиции гранитоидных батолитов и их вещественного состава является классическим подходом в петрологии, геохимии и геодинамике, и лишь сейчас, с появлением современных аналитических методов, появилась возможность проводить оценки составов протолитов и длительности гранитообразования [Коваленко и др., 1996; Владимиров и др., 2003; Ярмлюк, Коваленко, 2003; Травин и др., 2012]. Цель настоящего доклада – провести сравнительный анализ динамики гранитоидных батолитов, формирующихся в орогенных структурах различного типа. Верификация полученных результатов проводилась на основе математического моделирования гранитогнейсового диапиризма и сдвиговых деформаций в реологически расслоенной земной коре и литосфере [Полянский, Добрецов, 2001; Владимиров и др., 2008; Полянский и др., 2010].

Механизмы формирования гранитоидных батолитов. Анализ механизмов зарождения, внедрения и становления гранитных магм на разноглубинных уровнях земной коры представляет собой фундаментальную проблему структурной и физико-химической петрологии (проблема пространства). Намечено два подхода к ее решению: 1) гнейсогранитный диапиризм, т.е. «активное» воздействие гранитного расплава на реологически расслоенный разрез земной коры в виде диапиров, куполов и интрузивных тел; 2) зарождение гранитных расплавов в локальных областях декомпрессии при сдвигово-раздвиговых тектонических движениях и, как следствие, их структурный контроль в ходе подъема и кристаллизации. Модель диапиризма и формирования гнейсогранитных куполов, по П. Эскола, была разработана на примере докембрийских щитов и сейчас рассматривается как один из важнейших структурно-петрологических индикаторов коллизионного тектогенеза (см, например, обзор в [Розен, Федоровский, 2001]). Альтернативная модель «пассивного» внедрения первоначально обоснована для базитовых магм, приуроченных к рифтам и областям «рассеянного» рифтогенеза. Вместе с тем, накапливается все больше геологических, структурных и петрологических данных, свидетельствующих о том, что масштабное гранитообразование отвечает синорогеническому коллапсу, т.е. рубежу контрастной смены режима тангенциального сжатия литопластин на режим растяжения и развала орогена [Федоровский и др., 2010; Владимиров и др., 2011].

Термохронология гранитоидных батолитов и орогенических событий. Гранитоидные батолиты являются наиболее представительными геологическими объектами, позволяющими получить на основе термохронологических исследований (U/Pb, ⁴⁰Ar/³⁹Ar-методы) достоверную информацию об истории орогенических событий. В качестве возможной оценки длительности орогенических событий предлагается рассматривать

разницу между возрастом формирования гранитоидных батолитов, определенным U/Pb методом по циркону, монациту (для лейкогранитов) и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возрастом по слюдам (биотит, мусковит). Окончательное закрытие K/Ar изотопной системы слюд происходит при температурах, меньших 300-400°C. Это означает, что к этому времени pluton должен находиться на глубине, значительно меньшей 6-8 км. Этот уровень глубин соответствует переходу в земной коре от хрупко-пластических к хрупким деформациям и, по всей видимости, к существенному замедлению и смене механизма выведения гранитоидных батолитов к поверхности. В докладе рассматриваются гранитоидные батолиты мезоабиссальной фации глубинности (5-20 км) и сопряженные с ними во времени и пространстве метаморфические комплексы. Сводка термохронологических данных приведена на рисунке в виде обобщенной гистограммы, библиография по перечисленным ниже объектам отражена в работе [Травин и др., 2012].

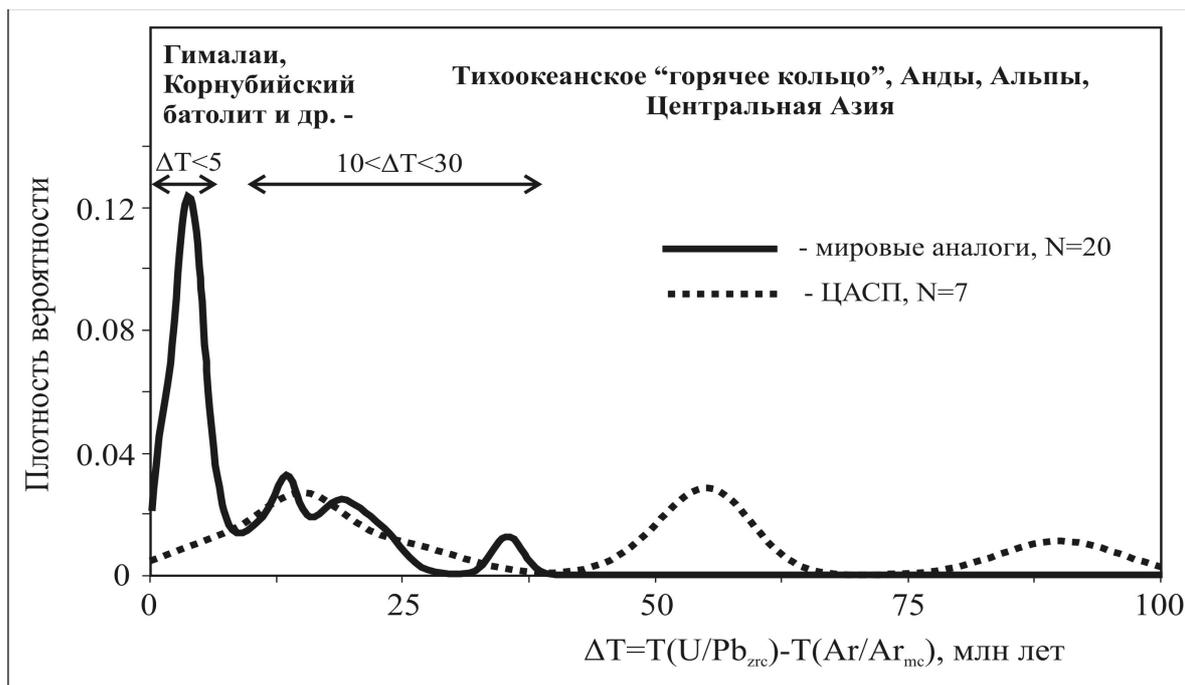


Рис. Гистограмма разницы между возрастом формирования (U/Pb по циркону, монациту) и возрастом закрытия K/Ar системы слюд для гранитоидных плутонов и сопряженных метаморфических комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) – штриховая линия и мировых аналогов – сплошная линия.

$\Delta T < 5$ млн лет. В область четко выраженного пика, соответствующего минимальным значениям длительности выведения к поверхности, не превышающим 5 млн лет, попадают одиннадцать петротипических гранитоидных плутонов разного возраста, формирующихся в обстановке постколлизийного растяжения при отсутствии ярко выраженной сдвиговой компоненты. Эти плутоны относятся к каледонидам юго-западной Англии (Корнубийский батолит) [Chesley et al., 1993]; Памиро-Гималайскому орогену (лейкогранитные плутоны) [Copeland et al., 1990; Владимиров и др., 1999; Harrison et al., 1998; 1999; Simpson et al. 2000; Searle et al., 2003]; орогену Севиер (Юго-Восточная Калифорния) [Kula, 2000]. Время подъема и тектонического экспонирования этих гранитоидных батолитов, зафиксированное изотопными системами, согласуется с результатами численного моделирования гранитогнейсового диапиризма в реологически расслоенной земной коре. Показано, что в результате базитового андерплейтинга (на глубине 30 км) в течение 2 млн лет происходит формирование гранитогнейсового купола и относительно быстрое его всплывание за несколько сотен тысяч лет, которое тормозится на глубине 6-7 км [Полянский и др., 2010].

$10 < \Delta T < 30$ млн лет. Для девяти петротипических плутонов, относящихся к трансформной активной континентальной окраине Северной Америки (от восточной Аляски до Мексики) [Chardon et al., 1999; Schmidt et al., 2009]; Новозеландской палеоокеанской активной окраине Гондваны [Scott & Palin, 2008; Scott et al., 2011]; сдвиговой зоне Ред Ривер (Китай, Вьетнам) [Cao et al., 2011]; герцинскому поясу Пиреней [Maurel et al., 2004; Evans et al., 1998; Metcalf et al., 2009], длительность выведения к поверхности значительно превышает результаты математического моделирования и попадает в диапазон 10-30 млн лет. В случае Пиренейских батолитов (герцинский орогенез) столь большая разница между временем их формирования и закрытием K/Ar изотопной системы слюд может быть объяснена альпийской активизацией, что зафиксировано по данным трекового датирования и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ термохронологии по K-полевым шпатам [Хаин и др., 1996; Metcalf et al., 2009]. Для батолитов Тихоокеанского «горячего» кольца наблюдаемые повышенные величины ΔT систематически воспроизводятся и, по всей видимости, являются показательными для окраинно-континентальных орогенных процессов. Общей чертой этих регионов и вероятной причиной замедления подъема плутонов к поверхности является роль сдвиговых деформаций [Ханчук, 2011].

Детальное термохронологическое исследование проведено на примере ранних каледонид Ольхонского региона (Западное Прибайкалье) [Федоровский и др., 1995; Розен, Федоровский, 2001; Травин и др., 2009; Владимиров и др., 2010], ранних каледонид Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) [Владимиров и др., 2005б; Кармышева, 2011] и герцинид Алтая [Травин и др., 2001; Владимиров и др., 2005а]. Установлено, что в стрессовых геодинамических условиях происходит существенное замедление подъема гранитоидных плутонов к поверхности. На основе имеющихся данных можно сделать предварительное заключение о том, что длительность выведения гранитоидных батолитов в Центральной Азии отвечает нескольким дискретным значениям, отличающимся примерно на 30-40 млн лет, при этом, первый пик совпадает с диапазоном значений, соответствующих активным континентальным окраинам с проявлением интенсивной сдвиговой компоненты, а последующие пики – мантийно-коровому взаимодействию в условиях интерференции плейт- и плюм-тектонических факторов.

Основные выводы.

1. Главным фактором, отвечающим за масштабное гранитообразование в земной коре, является наличие мантийного источника под орогенным горно-складчатым сооружением, который может быть обусловлен либо отрывом слэба при коллизионном орогенезе [Хаин и др. 1996], либо присутствием термохимического плюма [Добрецов, 2008].

2. Наиболее вероятными механизмами батолитообразования являются: а) гранитогнейсовый диапиризм, характерный для коллизионных орогенов с «жестким» столкновением континентальных литосферных плит (альпиды Памиро-Гималаев, каледониды северо-западной Англии), б) пассивное внедрение гранитоидных магм при сдвигово-раздвиговых деформациях в литосфере, что характерно для окраинно-континентальных геодинамических обстановок и Центрально-Азиатского складчатого пояса («мягкая» коллизия) [Владимиров и др., 2003; Травин и др., 2012]. В том и другом случаях объемы гранитоидных расплавов сопоставимы, а их состав зависит от состава протолитов [Kruk et al., 2011].

3. На первый план выходят вопросы скорости и длительности тектонического экспонирования затвердевших гранитоидных тел, главным инструментом для оценки которых является детальная расшифровка термохронологической эволюции батолитов. Установлено, что для «жесткой» коллизии характерна $\Delta T < 5$ млн лет, для «мягкой» коллизии $10 < \Delta T < 30$ млн лет. Приведенные на рисунке $\Delta T > 50$ млн лет для Центрально-Азиатского складчатого пояса пока не поддаются надежной интерпретации из-за малого числа U-Pb и Ar-Ar изотопных дат, а также экспериментальных исследований гранитообразования на абиссальном уровне.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РАН (проект ОНЗ-10.3), РФФИ (проект ОФИ № 09-05-12015), Президиума СО РАН (проект № 17 «Субсинхронное формирование разнотипных гранитоидов: петрогенезис, природа источников магм, геодинамика», № 77 «Магматизм, метаморфизм и рудогенерирующий потенциал алтаид и уралид»).

Литература

Владимиров А.Г., Гибшер А.С., Изох А.Э., Руднев С.Н. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Центральной Азии: масштабы, источники и геодинамические условия формирования // Доклады РАН. 1999. Т. 369. № 6. С. 795-798.

Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Руднев С.Н., Хромых С.В. Геодинамика и гранитоидный магматизм коллизионных орогенов // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 12. С. 1321-1338.

Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Полянский О.П., Владимиров В.Г., Бабин Г.А., Руднев С.Н., Анникова И.Ю., Травин А.В., Савиных Я.В., Палесский С.В. Корреляция герцинских деформаций, осадконакопления и магматизма Алтайской коллизионной системы как отражение плейт- и плюмтектоники. // Проблемы тектоники Центральной Азии. – М.: ГЕОС. 2005а. С. 277-308.

Владимиров В.Г., Владимиров А.Г., Гибшер А.С., Травин А.В., Руднев С.Н., Шемелина И.В., Барабаш Н.В., Савиных Я.В. Модель тектоно-метаморфической эволюции Сангилены (ЮВ Тува, Центральная Азия) как отражение раннекаледонского аккреционно-коллизионного тектогенеза // Доклады Академии наук. 2005б. Т. 405. № 1. С. 82-88.

Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Хромых С.В., Полянский О.П., Червов В.В., Владимиров В.Г., Травин А.В., Бабин Г.А., Куйбида М.Л., Хомяков В.Д. Пермский магматизм и деформации литосферы Алтая как следствие термических процессов в земной коре и мантии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 7. С. 621-636.

Владимиров А.Г., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Травин А.В., Владимиров В.Г., Хромых С.В., Юдин Д.С., Колотилина Т.Б. Геодинамическая модель ранних каледонид Ольхонского региона (Западное Прибайкалье) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 435. № 6. С. 1-7.

Владимиров А.Г., Владимиров В.Г., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Бабин Г.А., Травин А.В., Колотилина Т.Б., Хромых С.В., Юдин Д.С., Кармышева И.В., Корнева И.Б., Михеев Е.И. Роль плюм-тектоники и сдвигово-раздвиговых деформаций литосферы в эволюции ранних каледонид Центральной Азии // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН. «Геология, поиски и разведка рудных месторождений». № 1 (38). С. 105-119.

Добрецов Н.Л., Колман Р.Г., Берзин Н.А. (ред). Геодинамическая эволюция Палеоазиатского океана // Геология и геофизика. Доклады IV Международного симпозиума по проекту IGCP-283, 1994. Т. 35. № 7-8. – 269 с.

Добрецов Н.Л. Геологические следствия термохимической модели плюмов // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 7. С. 587-604.

Кармышева И.В., Владимиров В.Г., Волкова Н.И., Владимиров А.Г., Крук Н.Н. Два типа высокоградного метаморфизма в Западном Сангилене (Юго-Восточная Тува) // Доклады Академии наук. 2011. Т. 441. № 2. С. 230-235.

Коваленко В.И., Ярмолук В.В., Ковач В.П. Источники фанерозойских гранитоидов Центральной Азии: Sm-Nd изотопные данные // Геохимия. 1996. № 8. С. 699-712.

Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е. Современные проблемы геотектоники и геодинамики. – М.: Научный мир. 2004. – 610 с.

Полянский О.П., Добрецов Н.Л. Модель развития осадочного бассейна типа пул-апорт // Доклады Академии наук. 2001. Т. 380. №3. С. 386-373.

Полянский О.П., Бабичев А. В., Коробейников С. Н., Ревердатто В.В. Компьютерное моделирование гранитогнейсового диапиризма в земной коре: контролируемые факторы, длительность и температурный режим // Петрология. 2010. Т. 18. № 4. С. 450-466.

Розен О.М., Федоровский В.С. Коллизионные гранитоиды и расслоение земной коры (примеры кайнозойских, палеозойских и протерозойских коллизионных систем) // Тр. ГИН РАН; Вып. 545. – М.: Научный мир. 2001. – 188 с.

Травин А.В., Бовен А., Плотников А.В., Владимиров В.Г. Тениссен К., Владимиров А.Г., Мельников А.И., Титов А.В. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование деформаций в Иртышской зоне смятия (Восточный Казахстан) // Геохимия. 2001. №12. С.1347-1350.

Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. Т. 50. № 11. С. 1181-1199.

Травин А.В., Владимиров А.Г., Бабин Г.А., Пономарчук В.А., Полянский О.П., Навозов О.В., Хромых С.В., Юдин Д.С., Кармышева И.В., Котлер П.Д., Михеев Е.И. термохронология гранитоидных батолитов (U-Pb, AR-AR) и оценка длительности орогенических событий // Материалы V Российской конференции по изотопной геохронологии, Москва, ИГЕМ РАН, 2012. С. 344-346.

Федоровский В.С., Владимиров А.Г., Хаин Е.В., Каргополов С.А., Гибшер А.С., Изох А.Э. Тектоника, метаморфизм и магматизм коллизионных зон каледонид Центральной Азии // Геотектоника. 1995. № 3. С. 3-22.

Федоровский В.С., Склярков Е.В., Изох А.Э., Котов А.Б., Лавренчук А.В., Мазукабзов А.М. Сдвиговый тектогенез и щелочно-базитовый магматизм в коллизионной системе каледонид Западного Прибайкалья // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 5. С. 682-701.

Хаин В.Е., Тычков С.А., Владимиров А.Г., Коллизионный орогенез: модель отрыва субдуцированной пластины океанской литосферы при континентальной коллизии // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 1. С. 5-16.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Батолиты и геодинамика батолитообразования в Центрально-Азиатском складчатом поясе // Геология и геофизика. 2003, Т.44. № 12. С. 5-27.

Kruk N.N., Rudnev S.N., Vladimirov A.G., Shokalsky S.P., Kovach V.P, Serov P.A., Volkova N.I. Early-Middle Paleozoic granitoids in Gornyy Altai, Russia: Implications for continental crust history and magma sources // Journal of Asian Earth Sciences. 2011. V.42 (5). P. 928-948.

Şengör A.M.C., Natal'in B.A., Burtman V.S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia // Nature. 1993. V. 364. P. 299-307.

Windley B.F., Alexeev D., Xiao W., Kroner A., Badarch G. Tectonic model for accretion of the Central Asia orogenic belt // Journal of the Geological Society, London. 2007. V. 164. P. 31-47.

Xiao W.J., Windley B.F., Badarch G., Sun S., Li J.L., Qin K.Z., Wang Z.H. Paleozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: implication for the lateral growth of Central Asia // Journal of the Geological Society, London. 2004. V. 161. P. 339-342.

Xiao W.J., Windley B.F., Yuan C., Sun M., Han C.M., Lin S.F., Chen H.L., Yan Q.R., Liu D.Y., Qin K.Z., Li J.L., Sun S. Paleozoic multiple subduction-accretion processes of the southern Altaids // American Journal of Science. 2009. V. 309. P. 221-270.

Yuan C., Sun M., Xiao W.J., Li X.H., Chen H.L., Lin S.F., Xia X.P., Long X.P. Accretionary orogenesis of Chinese Altai: Insights from the Paleozoic granitoids // Chemical Geology. 2007. V. 242. P. 22-39.