## О СИНХРОННОСТИ СОБЫТИЙ ГРАНИТОИДНОГО МАГМАТИЗМА И ВОДНОГО МЕТАМОРФИЗМА В ИСТОРИИ ПЛАТИНОНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА: НОВЫЕ U-PB SHRIMP ДАННЫЕ ПО ЦИРКОНАМ «ЭПИГАББРО» МАССИВА ДЕНЕЖКИН КАМЕНЬ

# А.А. Ефимов, Ю.Л. Ронкин, Д.И. Матуков, С.Л. Пресняков, О.П. Лепихина, Г.А. Лепихина

Недавно полученные авторами U-Pb методом (ID-TIMS) по цирконам из плагиогранитов Кытлымского массива изотопные данные [Ефимов, Ронкин и др., 2005] датируют наиболее позднее (около 415 млн лет) магматическое событие в истории Платиноносного пояса Урала. По надежным геологическим данным, внедрение плагиогранитной магмы связано с эпохой тектонического растяжения и гидратации (водного метаморфизма амфиболитовой ступени) – последнего крупного события в истории Пояса



Рис. 1. Схема геологического строения массива Денежкин Камень (по данным съемок А.А. Ефимова и Л.П. Ефимовой) с указанием места отбора изученной пробы 25387. 1 – дуниты; 2 – клинопироксениты; 3 – тылаиты и оливиновые габбро горячего меланжа; 4 – габбро-нориты; 5 – оливиновые габбро; 6 – гранитизированные габбро-нориты (эпигаббро); 7 – роговики и кытлымиты; 8 – амфиболиты; 9 – зеленые сланцы ордовика; 10 – силурийские вулканиты; 11 – кварцевые диориты и тоналиты; 12 – серпентиниты Салатимского пояса; 13 – внешний тектонический контакт массива. 14 – горячие тектонические швы; 15 – расслоенность. [Ефимов, 1999]. Датирование этой эпохи представляет особый интерес: с ней связано образование больших масс пород, содержащих роговую обманку, а также медносульфидные рудные концентрации известного волковского типа.

Для изотопных исследований выбраны гранитизированные габбро – типичный продукт эпохи водного метаморфизма. Эти породы ранее были кратко описаны Е.В. Свешниковой [1959] для Кумбинского массива под названием «эпидиоритов» и «эпигаббро» как продукт «регионального процесса амфиболизации габбро». Термин «эпигаббро» ввиду его краткости представляется авторам весьма приемлемым. Особенности состава и генезиса этих пород там же были более детально изучены А.А. Ефимовым и К.В. Флеровой [1979]: ими описана зона динамометаморфизма и гранитизации габбро, приуроченная к древнему горячему тектоническому шву - месту аккреции габбро-ультрамафитовых блоков. Было установлено, что в диффузионном метасоматическом ореоле зоны вмещающие габбро-нориты замещаются амфибол-, биотит- и кварцсодержащими породами (эпигаббро).

Такие же эпигаббро (гранитизированные габбро-нориты) в несколько иной позиции обнаружены при геологической съемке в массиве Денежкин Камень, впервые изученном Ф.Ю. Левинсон-Лессингом [1900]. Здесь эпигаббро, содержащие реликтовые тела вмещающих габбро-норитов и связанные с ними постепенными переходами, слагают участки в краевой зоне обширного габбрового поля, на стыке его с крупной интрузией высокостронциевых кварцевых диоритов – тоналитов (рис. 1). Жилы последних в эпигаббро не встречены, однако наблюдались жилы гранитоидов другого типа – низкостронциевых калиевых гранитов, впервые обнаруженных в центральной части массива [Ефимов, Ершов, 2001]. Соотношения двух типов гранитоидов между собой недостаточно ясны.

Развитие новообразованного парагенезиса эпигаббро по габбро-нориту происходит почти псевдоморфно, без существенной деформации; наследуются трахитоидная текстура и офитовая структура протолита. Первичный парагенезис габбро-норита (зональный лабрадор Ап<sub>75</sub>-Ап<sub>45</sub>, гиперстен, авгит, магнетит, содержащий до 8-10 мас. % TiO<sub>2</sub>, ортоклаз и биотит, содержащий до 5 мас. % ТіО<sub>2</sub>, иногда оливин) по мере перехода их в эпигаббро сменяется парагенезисом буровато-зеленой роговой обманки, менее титанистого (до 2,6 мас. % TiO<sub>2</sub>) биотита, пятнисто-зонального плагиоклаза Ап<sub>58</sub>-Ап<sub>16</sub>, калиевого полевого шпата с нечеткой микроклиновой решеткой, кварца и малотитанистого (0,6 мас. % TiO<sub>2</sub>) магнетита. Обычна примесь реликтовых минералов габбро-норита авгита и гиперстена, замещаемых роговой обманкой. Из акцессорных минералов обычны апатит, сфен и сульфиды. При интенсивном изменении субстрата породы приближаются по составу к кварцевым биотит-роговообманковым диоритам и монцодиоритам

По мере замещения габбро-норита эпигаббро возрастают концентрации Si, Na и K, уменьшаются содержания Ca, Mg, Fe, и Ti. Проявляется, таким образом, тенденция гранитизации исходного субстрата. На всех петрохимических диаграммах фигуративные точки эпигаббро как Денежкина Камня, так и Кумбинского массива составляют единый ряд, от габбро до кварцсодержащего диорита-монцодиорита (рис. 2). Прорывающие их калиевые граниты составляют отдельную дискретную группу (табл. 1). Концентрации и спектры редких земель в эпигаббро обоих массивов также очень близки и так же контрастируют с составами калиевых гранитов (рис. 3).

Выделение циркона из эпигаббро производилось по традиционной схеме с применением концентрационного стола, изодинамического магнитного сепаратора и тяжелых жидкостей. Выбранные вручную, под бинокуляром индивиды циркона, представляющие собой фрагменты относительно крупных (более 200 мкм) кристаллов белого цвета, совместно со стандартами SL13, 91500 и TEMORA [Black et al., 2003а,б] были зафиксированы смолой Epofix в шайбе диаметром 25 мм, которая шлифовалась до выведения кристаллов на поверхность.

Далее, с помощью сканирующего электронного микроскопа (CamScan MX2500 с катодолюминесцентной системой CLI/QUA2, Bentham) были получены катодолюминесцентные изображения цирконов, позволяющие выб-

Таблица І	1
-----------	---

Химический и нормативный состав горных пород, мас. %

<u>Γр.</u>	1	1	1	1	2		
№ обр.	878	25387	25388	25390-1	25390-2		
SiO <sub>2</sub>	54,18	52,14	43,11	56,85	74,3		
TiO <sub>2</sub>	0,82	0,987	0,89	0,641	0,083		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,55	17,03	16,29	19,37	14,11		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,55	10,55	16,01	6,46	1,04		
MnO	0,08	0,19	0,20	0,13	0,03		
MgO	4,53	3,51	8,50	2,39	0,29		
CaO	7,87	8,39	12,63	7,44	1,35		
Na <sub>2</sub> O	1,48	6,50	1,33	3,64	2,85		
K <sub>2</sub> O	1,34	1,18	0,18	1,09	4,86		
ппп	0,97	0,25	1,03	0,45	0,16		
$P_2O_5$	0,35	0,35	0,07	0,3	0,02		
Сумма	99,72	101,08	100,24	98,76	99,1		
Rb, г/т	24	17	3	11	58		
Sr, г/т	545	532	470	631	179		
Нормативный состав пород							
FSP	58,65	72,06	51,2	72,17	61,85		
СРХ	0	10,12	19,92	1,44	0		
OPX	16,57	0	7,3	8,03	1,05		
OL	0,00	8,64	10,17	0,00	0,00		
QU	15,89	0,00	0,00	12,29	36,11		
TMT	8,33	8,64	11,29	5,58	0,94		
nPL	73,46	20,14	76,07	50,48	20,43		
F	54,25	60,78	49,09	58,24	65,18		

Примечание. Петрографические группы пород: 1 – эпигаббро, 2 – калиевые граниты.



Рис. 2. Классификационная диаграмма Or-Pl-Qu.

 1 – эпигаббро массива Денежкин Камень; 2 – жильные низкостронциевые граниты массива Денежкин Камень; 3 – эпигаббро Кумбинского массива. рать наиболее подходящие, с точки зрения методологии исследования, точки для локального микрозондового исследования. Подготовленная шайба загружалась в шлюз SHRIMP II (Sensitive High Resolution Ion Micro Probe II) – прецизионного вторично-ионного микрозонда высокого разрешения производства фирмы ASI (Австралия). Принцип работы SHRIMP II [Ронкин и др., 2005б] основан на том, что пучок ионов кислорода (или цезия), ускоряемых напряжением до 10 kV, фокусируется оптикой Колера в параллельный пучок поперечным сечением 5-30 мкм и направляется на поверхность анализируемого образца. Ионная бомбардировка, формируя на мишени кратер, соизмеримый с диаметром кислородного пучка и глубиной до 3-4 мкм, выбивает атомы и молекулы из мишени, частично ионизуя их. Эти вторичные ионы собираются электростатическими линзами вторичной колонны из области ионизации и после фокусировки вторичного пучка направляются в масс-





анализатор с двойной фокусировкой, где разделяются по массам и энергиям, попадая в приемную щель регистрирующего канала.

Более детально изложенный в работе [Ронкин и др., 2005а] процесс измерения изотопного состава условно состоял из двух этапов: после завершения всех штатных настроек и калибровок производилось измерение изотопного состава свинца и уран-свинцового отношения в стандартном цирконе, которые в дальнейшем использовались в качестве реперных для вычисления U-Pb возраста образца. Для каждого «выстрела» производилась регистрация 5-7 спектров масс-пиков <sup>90</sup>Zr,O, <sup>204</sup>Pb, <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th<sup>16</sup>O и <sup>238</sup>U<sup>16</sup>O. На втором этапе пучок первичных ионов направлялся на поверхность изучаемого образца циркона в выбранную по катодолюминесцентным изображениям зону кристалла. Измерение изотопного состава Pb и U-Pb отношения производилось в каждой точке в течение 10-15 минут для достижения необходимой статистической погрешности.

> Цирконовые стандарты TEMORA, 91500 и SL13 анализировались через каждые 4-5 анализов испытуемых образцов. На последнем этапе производилась обработка полученной аналитической информации с использованием программного обеспечения SOUID и ISOPLOT/EX [Ludwig, 2000, 2001]. Всего был изучен изотопный состав U-Th-Pb трех локальных областей (наибольший размер эллипсообразного «пятна» около 30 мкм) в трех кристаллах цирконов из эпигаббро 25387 (рис. 4-6). Экспериментальные результаты, изображенные на графике в координатах <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U - <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U (рис. 7), демонстрируют незначительную дискордантность (9-14%) для всех «выстрелов». Учитывая близость локализации U-Pb данных к конкордии, результаты SHRIMP датирования были вычислены как конкордантные, определяющие возраст 412 ±10 млн лет, при MSWD = 0,93 и вероятности соответствия «probability» = 0,33.

> Полученные изотопные данные, хорошо согласующиеся с данными по U-Pb ID-TIMS возрасту цирконов плагиогранитов [Ефимов и др. 2005], дают прямые указа-

#### ПЕТРОЛОГИЯ

ния на время важнейшей, «глобальной» и самой поздней для Платиноносного пояса эпохи водного метаморфизма высокой амфиболитовой ступени, наиболее ярко выразившейся в образовании больших ареалов роговообманковых габбро, сопровождаемых габбро-пегматитами, горнблендитами и анортозитами. Более или менее значительные проявления этой эпохи повсеместны явления «амфиболизации» хорошо известны и неоднократно описывались. По существу, полученные данные датируют возраст роговой обманки в самых разных, первично «сухих» породах Пояса. Эпоха растяжения и гидратации была последним крупным тектоно-метаморфическим событием в истории древней нижнекоровой зоны, из глубин кото-

рой в образовавшуюся при горячей аккреции структуру Пояса проникли водный флюид и гранитоидные выплавки [Ефимов, 1999]. Вопрос о времени эксгумация фрагментов древней зоны и включения их в структуру верхней коры (т.е. о времени образования современной структуры Пояса) остается пока открытым.

Рис 7. U-Pb SHRIMP результаты по цирконам из эпигаббро Денежкина Камня.





### ЕЖЕГОДНИК – 2005

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 04-05-96078 РФФИ-Урал).

#### Список литературы

Ефимов А.А. Платиноносный пояс Урала: тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах // Отечеств. геология. 1999. № 3. С. 31-39.

Ефимов А.А., Ершов И.С. О находке жильных низкостронциевых гранитов и гранит-пегматитов с турмалином в горячем меланже Денежкина Камня (Северный Урал) // Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 67-69.

Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л., Зиндерн С. и др. Новые U-Pb данные по цирконам плагиогранитов Кытлымского массива: изотопный возраст поздних событий в истории Платиноносного пояса Урала // Докл. АН. 2005. Т. 403. № 4. С. 512-516.

Ефимов А.А., Флерова К.В. Амфиболитовый метаморфизм и гранитизация габброидов Кумбинского массива (Северный Урал) в зоне древнего «горячего» тектонического шва // Докл. АН СССР. 1979. Т. 245. № 1. С. 200-203.

Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Геологический очерк

Южно-Заозерской дачи и Денежкина Камня на Северном Урале // Тр. СПб общ. естествоисп. Т. 30. № 5. Юрьев, 1900. 257 с.

Ронкин Ю.Л., Матуков Д.И., Пресняков С.Л., и др. «In situ» U-PB SHRIMP датирование цирконов нефелиновых сиенитов Бердяушского массива (Южный Урал). Литосфера. 2005а. № 1. С. 135-142.

Ронкин Ю.Л., Williams I., Матуков Д.И. и др. SENSITIVE HIGH RESOLUTION ION MICRO PROBE II в изотопной геологии // Тр. ХХ Междунар. конф. «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество». Черноголовка, 2005б. С. 243-244.

Свешникова Е.В. Габброидные породы Кумбинского массива на Северном Урале // Вопросы магматизма Урала. М: ИГЕМ АН СССР, 1959. С. 52-91.

*Black, L.P., Kamo, S.L, Allen C.M. et al.* TEMORA 1: a new zircon standard for U-Pb geochronology // Chemical Geology. 2003a. V. 200. P.155-170

*Black L.P., Kamo S.L., Williams I.S et al.* The application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology; a critical appraisal of four zircon standards // Chemical Geology. 20036. V. 200. P. 171–188.

*Ludwig, K.R.* SQUID 1.02. A User's Manual // Berkeley Geochronology Center Special Publication. N 2, Berkeley, USA, 2000. 19 p.

*Ludwig K.R.* // Isoplot/Ex ver. 2,49. Berkeley Geochronology Center. Special Publication. 2001. N 1a. 55 p.