

## К ВОПРОСУ ОБ U-Pb ВОЗРАСТЕ ЦИРКОНОВ ИЗ ЛЕЙКОГРАНИТОВ СОКОЛИНОГО КАМНЯ ВЕРХИСЕТСКОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2017 г. Е. А. Зинькова, П. Монтеро\*, Ф. Беа\*

Верхисетский батолит, расположенный вблизи г. Екатеринбург в пределах палеоокраинно-континентальной области Среднего Урала, является одним из наиболее хорошо изученных массивов на Урале. Гранитоиды сопровождаются небольшими базитовыми интрузиями, синплутоническими мафитовыми дайками и включениями [Зинькова, Ферштатер, 2007] и по происхождению являются мантийно-коровыми. К настоящему времени установлено, что гранитоиды массива формировались главным образом в два этапа [Зинькова, 1997; Зинькова и др., 2009; Смирнов и др., 2011]. В течение первого возникали плутоны тоналит-трондьемитового состава с возрастом 380–369 млн лет в условиях активной континентальной окраины. Во время второго этапа происходило внедрение плутонов гранодиоритового и адамеллит-гранитного состава с возрастом 315–300 млн лет в связи с ранним эпизодом коллизионного магматизма. Для этого этапа характерны небольшие самостоятельные гранитные плутоны без признаков деформаций, дискордантные по отношению к внутренней структуре массива и завершающие его образование. Основными представителями таких плутонов являются недеформированные адамеллиты и граниты аятского комплекса с возрастом 300 млн лет, занимающие центральную часть массива (рис. 1). Помимо них в периферической части массива отмечаются редкие разновидности – мусковит-гранатовые лейкограниты, выполняющие скальные выходы Соколиного Камня и горы Каменная в пределах северской структуры Верхисетского массива. В настоящей работе речь идет о лейкогранитах Соколиного Камня.

Лейкограниты выполняют небольшое тело размером  $300 \times 200 \times 100$  м среди умеренно-калиевых гранодиоритов северской серии с U-Pb цирконовым возрастом  $310 \pm 2$  млн лет. Контакты с вмещающими гранодиоритами не наблюдаются. Следует отметить, что тело лейкогранитов композиционно вписывается в дугообразную полосу ксенолитов метабазитов среди гранодиоритов северской структуры и находится в ее западной части (см. рис. 1).

Лейкограниты представлены светлыми от средне- до крупнозернистыми породами массивной тек-

стуры. Состоят из кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклаза, мусковита, граната; акцессорные минералы – апатит, циркон, монацит, ксенотим. По количеству циркон значительно уступает монациту, что согласуется с низким содержанием Zr в породе (26.18–33.09 г/т). Гранат образует шпирь, неравномерно распределенные по породе. Иногда в шпирях наблюдается пойкилитовая структура за счет идиоморфных зерен плагиоклаза в гранатовой массе, что указывает на позднюю кристаллизацию граната.

Лейкограниты относятся к высококалиевой известково-щелочной серии (рис. 2а). Содержание  $K_2O$  в них колеблется от 3.84 до 3.87 мас. %. Величина индекса глиноземистости (ASI) в лейкогранитах изменяется от 0.94 до 1.20, указывая на их транзитное положение между металюминиевыми и высокоглиноземистыми сериями (рис. 2б). Лейкограниты обеднены  $TiO_2$  (0.03–0.05 мас. %),  $MgO$  (0.18–0.23),  $CaO$  (0.52–0.70 мас. %). Для них характерны глубокие европиевые минимумы, пониженное содержание LREE, пониженное – Sr (19.16–27.41 г/т), Ba (53.58–66.92), Zr (26.18–33.09 г/т) относительно гранитов аятского комплекса (рис. 3).

В гранитоидах массива наблюдается отрицательная корреляция между величинами отношений Sm/Nd и Rb/Sr, которая меняется на положительную в пределах лейкогранитов (рис. 4а). Величина отношения Sm/Nd достигает максимума (0.363) в лейкогранитах Соколиного Камня. Вероятно, такая инверсия происходит за счет смены парагенезиса фракционирующих минералов – в первой группе, куда относится большинство гранитоидов массива, большую роль в дифференциации играет роговая обманка, во второй группе она отсутствует и фракционирование осуществляется за счет слюды, полевых шпатов и аксессуаров (циркона, монацита, ксенотима). Для большинства гранитоидов массива характерно отсутствие европиевой аномалии, тогда как в лейкогранитах величина  $Eu/Eu^*$  убывает с возрастанием отношения Rb/Sr (рис. 4б). Приведенные петро- и геохимические характеристики мусковит-гранатовых лейкогранитов говорят о высокой степени их дифференциации.

\* Университет г. Гранада (Испания), pilar\_montero@me.com.

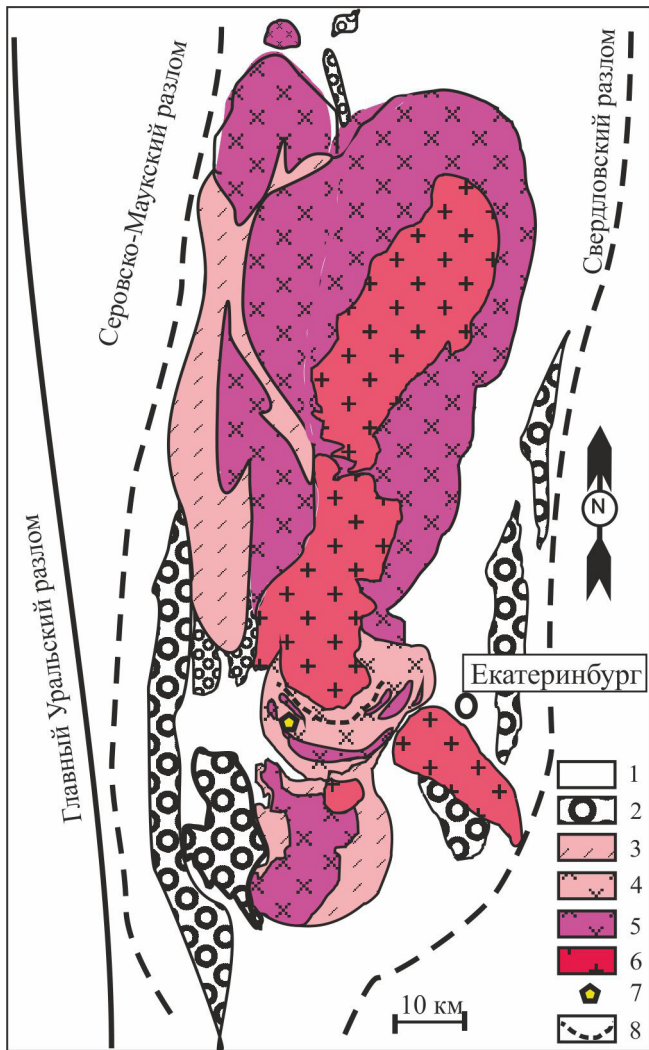


Рис. 1. Геологическая схема Верхисетского массива.

Составлена по материалам Д.А. Двоеглазова, Г.Н. Кузюкова, Д.С. Вагшала (1972–1979 гг.) и авторов.

1 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи силурийского (?)–раннедевонского возраста; 2 – породы базальтоидной габбро-гранитной формации; 3–6 – породы Верхисетского массива: 3 – малокальциевой тоналит-грондземитовой (таватуйской) и габбро-диоритовой серий, 4 – гранодиориты северской структуры, 5 – гранодиориты калинатровой тоналит-гранодиоритовой серии, 6 – адамеллиты и граниты аятского комплекса; 7 – лейкограниты Соколиного Камня, место отбора пробы на циркон; 8 – полоса ксенолитов метабазитов в гранитоидах Верхисетского массива.

Пробу на циркон отбирали из центральной части лейкогранитового тела. Цирконы выделяли обычным методом, включающим дробление пробы массой 30 кг до фракции 0.5 мм, выделение тяжелой фракции на концентрационном столе и сепарацию в тяжелых жидкостях. Конечный отбор цирконов осуществляли вручную на бинокулярном микроскопе. Датирование цирконов проводили на приборе SHRIMP Пс/мс в лаборатории

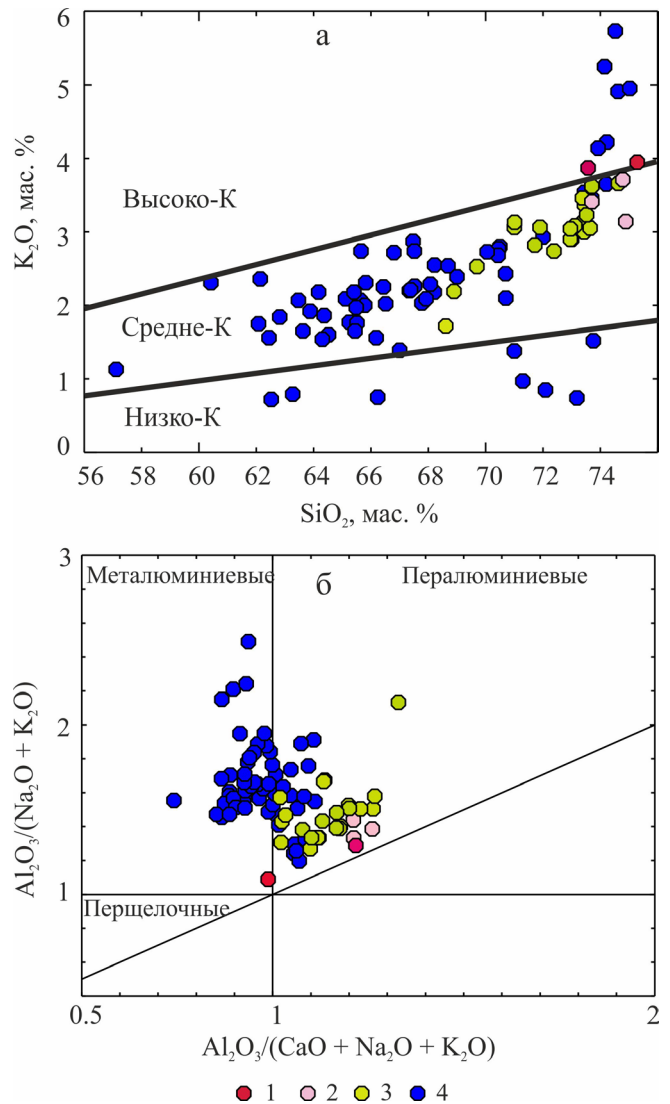
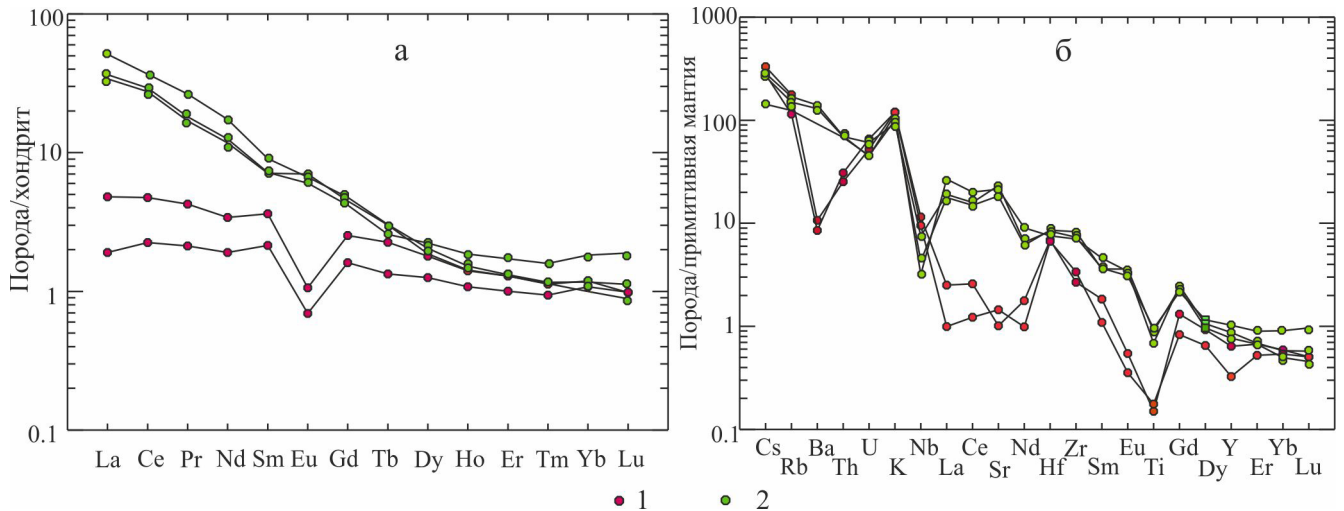


Рис. 2. Классификационные диаграммы для пород Верхисетского массива.

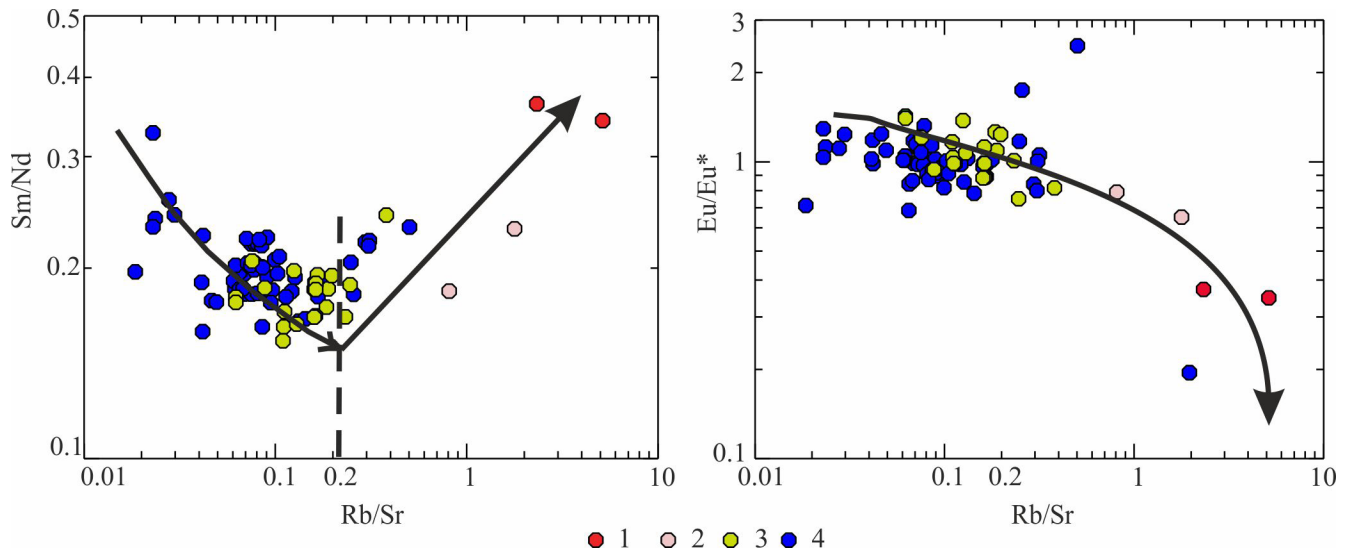
Поля на диаграммах показаны по разным источникам: а – [Le Maitre, 1989], б – [Manniar, Piccoli, 1989].

1 – гранат-мусковитовые лейкограниты Соколиного Камня; 2 – гранат-биотит-мусковитовые лейкограниты горы Каменная; 3 – граниты аятского комплекса; 4 – другие гранитоиды массива.

IBERSIMS (Университет Гранады, Испания). Отобранные вручную цирконы плюс стандарты – несколько зерен циркона Temoga, одно зерно SL13 и несколько зерен циркона GAL – помещали в шайбу диаметром 3.5 см, полировали и фотографировали в отраженном и проходящем свете, во вторичных электронах и методом катодолуминесценции. После интенсивной очистки шайбу покрывали золотом толщиной 80 мкм. В каждой выбранной точке анализировали следующую последовательность изотопов:  $^{196}\text{Zr}_2\text{O}$ ,  $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{204.1}\text{фон}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{248}\text{ThO}$ ,  $^{254}\text{UO}$ . Первичный пучок, состоящий из  $^{16}\text{O}^{16}\text{O}_2^+$ , имеет значение ин-



**Рис. 3.** Распределение РЗЭ (а) и нормированные к примитивной мантии (б) составы лейкогранитов Соколиного Камня (1) и гранитов аятского комплекса (2).



**Рис. 4.** Изменение Sm/Nd и Eu/Eu\* в зависимости от Rb/Sr в разных гранитоидах Верхисетского массива. Условные обозначения см. на рис. 2.

тенсивности от 4 до 5 мкА, с диафрагмой Кохлера в 120 мкм, который создает пятно размером  $17 \times 20$  мкм на цели, вторичный кратер составляет 80 мкм, достигая разрешения около 5000 на 1% высоты пика. Более подробную информацию о процедуре можно почерпнуть из литературных источников [Williams, 1998; Black et al., 2003]. Обработку данных осуществляли с помощью программы SHRIMPTOOLS, специально приспособленной Ф. Беа к IBERSIMS (доступна на сайте [www.ugr.es/~fbea](http://www.ugr.es/~fbea)). Результаты исследований приведены в табл. 1.

Изученные цирконы представлены идиоморфными кристаллами с преобладающей длиннопризматической формой (рис. 5). Почти все цир-

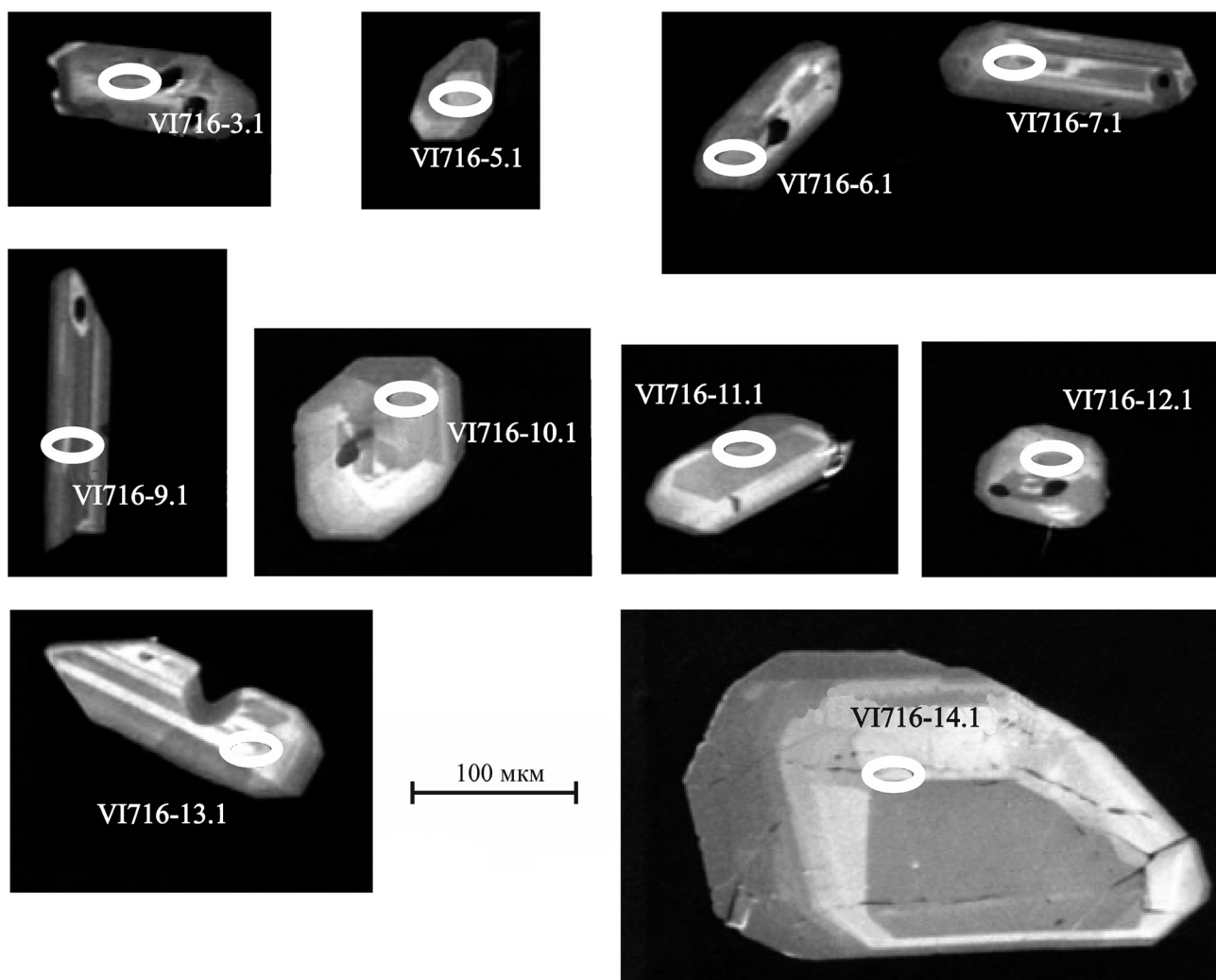
коны имеют сложное внутреннее строение с отчетливо выраженной ритмичной зональностью и частыми включениями. Некоторые кристаллы циркона обладают следами дробления и регенерации, что говорит о долгой истории преобразования. В целом для цирконов характерно умеренное содержание U (79.3–185.0 г/т), Th (36.4–104.0 г/т) и Th/U – 0.43–0.60 (см. табл. 1). Малые интервалы этих величин говорят об однородной популяции цирконов.

Среднее значение возраста по замерам 10 зерен циркона составило  $336 \pm 5$  млн лет (рис. 6). Эта цифра не может быть принята за возраст кристаллизации лейкогранитов по ряду причин. Во-первых, они обладают массивной текстурой, ха-

**Таблица 1.** Результаты U-Pb изотопного анализа цирконов из лейкогранитов Соколиного Камня (обр. Ви-716)

Точка анализа Ви716	U, г/г	Th, г/г	<sup>206</sup> Pb <sub>о</sub> , г/г	(2) % $f_{206\_4}$	(1) $\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	(±)	(1) $\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	(±)	(1) $\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	(±)	(1) Возраст, млн лет $\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	(±)	(1) Возраст, млн лет $\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	(±)	D, %
3.1	100.7	42.5	4.7	1.6	0.05689	0.00120	0.05425	0.00058	0.42551	0.01010	340.5	3.5	360	7.2	5.4
5.1	98.9	41.6	4.6	0.3	0.05317	0.00101	0.05340	0.00105	0.39143	0.01070	335.3	6.4	335.4	7.8	0.0
6.1	113.1	57.7	5.1	0.2	0.05892	0.00088	0.05227	0.00096	0.42461	0.01008	328.4	5.9	359.3	7.2	8.6
7.1	126.5	73.8	5.8	-0.2	0.05137	0.00053	0.05320	0.00100	0.37676	0.00809	334.1	6.1	324.7	6.0	-2.8
9.1	185.0	104.6	8.4	0.3	0.05240	0.00071	0.05238	0.00090	0.37841	0.00826	329.1	5.5	325.9	6.1	-1.0
10.1	124.6	68.4	5.6	0.4	0.05702	0.00096	0.05218	0.00087	0.41029	0.00975	327.9	5.4	349.1	7.1	6.0
11.1	123.6	64.1	5.9	0.3	0.05146	0.00082	0.05500	0.00119	0.39028	0.01052	345.2	7.3	334.6	7.7	-3.2
12.1	121.3	65.5	5.6	0.4	0.05472	0.00180	0.05339	0.00113	0.40279	0.01575	335.3	6.9	343.7	11.5	2.4
13.1	79.3	36.4	3.7	0.4	0.05224	0.00090	0.05408	0.00108	0.38951	0.01029	339.5	6.6	334.0	7.5	-1.6
14.1	126.4	68.0	6.1	0.5	0.05315	0.00102	0.05572	0.00077	0.40838	0.00966	349.6	4.8	347.7	7.0	-0.6

Примечание. Погрешность 1σ; Pb<sub>о</sub> и Pb\* – обыкновенный и радиогенный свинец соответственно. (1) – введена поправка на обыкновенный свинец по измеренному <sup>204</sup>Pb. (2) – доля нерадиогенного <sup>206</sup>Pb, вычисленная по <sup>204</sup>Pb. D – дискордантность, %.



**Рис. 5.** Катодолуминесцентные изображения отдельных кристаллов циркона из лейкогранитов Соколиного Камня, обр. Ви-716.

Овалами обозначены точки измерения; номера соответствуют номерам анализов, приведенных в табл. 1.

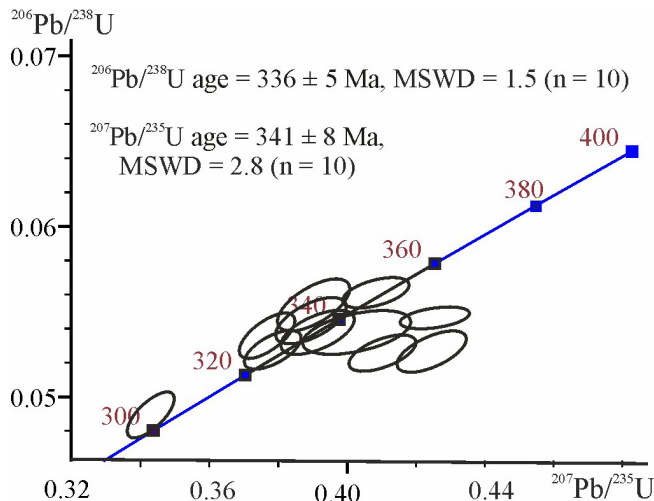


Рис. 6. U-Pb возраст зерен циркона из лейкогранитов Соколиного Камня, обр. Ви-716.

рактерной только для самых молодых образований в пределах массива. Во-вторых, они залегают среди гнейсовидных гранодиоритов северской серии с U-Pb возрастом в  $310 \pm 5$  млн лет и, вероятнее всего, по геологическим наблюдениям, образуют в них шток. Таким образом, время формирования лейкогранитов Соколиного Камня (моложе чем 310 млн лет) не совпадает с U-Pb возрастом цирконов. Вероятнее всего, цирконы имеют реститогенную природу и унаследованы лейкогранитами из своего источника.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 15-05-00576 и УрО РАН, проект № 15-18-5-24. Публикация IBERSIMS № 42.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Зинькова Е.А. Геохимия, история формирования и петрогенезис Верхисетского гранитоидного батолита: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1997. 23 с.
- Зинькова Е.А., Ферштатер Г.Б. Синплутонические дайки в гранитоидах Верхисетского массива (Средний Урал) // Литосфера. 2007. № 2. С. 141–151.
- Зинькова Е.А., Ферштатер Г.Б., Родионов Н.В. U-Pb-цирконовый возраст диоритов чувской габбродиоритовой серии Верхисетского массива (Средний Урал) // Докл. РАН. 2009. Т. 425, № 1. С. 72–75.
- Смирнов В.Н., Иванов К.С., Шокальский С.П., Падерин И.П. Результаты U-Pb датирования цирконов из гранитоидов Верхисетского и Краснопольского массивов (Восточный склон Урала) // Региональная геология и металлогения. 2011. № 48. С. 50–59.
- Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Aleinikoff J.A., Davis D.W., Korsch J.R., Foudolis C. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology // Chem. Geol. 2003. V. 200. P. 155–170.
- Le Maitre R.W. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Oxford: Blackwell, 1989. 193 p.
- Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Bull. Geol. Soc. Amer. 1989. V. 101. P. 635–643.
- Williams I.S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe // Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes / eds M.A. McKibben, W.C. Shanks III, W.I. Ridley. Econ. Geol. 1998. V. 7. P. 1–35.