

Результаты U-Pb SIMS датирования коллизионных гранодиорит-гранитных массивов Восточной зоны Среднего Урала

Результаты U-Pb SIMS датирования зерен циркона из двух типичных для восточной окраины Среднего Урала гранодиорит-гранитных массивов (Старокривчанского и Новокривчанского) показали, что их формирование протекало в интервале от 315 до 306 млн лет назад. Анализ геологических и геохронологических данных свидетельствует о приуроченности этого этапа гранитообразования к коллизионной стадии развития региона. Внедрение датированных массивов произошло синхронно с формированием широко развитого в пределах открытой части Среднего Урала верхисетского гранодиорит-гранитного комплекса, что подтверждает наличие крупного эпизода коллизионного гранитоидного магматизма, единого для восточного сектора Урала и фундамента прилегающей части Западно-Сибирской плиты.

Ключевые слова: гранитоиды, U-Pb SIMS датирование, восточная окраина Среднего Урала, фундамент Западно-Сибирской плиты.

V. N. SMIRNOV, K. S. IVANOV, A. V. KOROVKO (IGG UB RAS)

Collision granodiorite-granite massifs in the eastern zone of the Middle Urals: U-Pb SIMS geochronology and tectonic settings

The U-Pb SIMS dating of zircons from two granodiorite-granite massifs (Starokrivchansky and Novokrivchansky), typical of the eastern margin of the Middle Urals, has shown that they had been forming in the period from 315 and 306 Ma ago. The analysis of the geological and geochronological data available proves that this stage of granitoid magmatism belongs to the collision period of the evolution of this region. The intrusion of dated massifs occurred synchronously with the formation of the Verkhisetsky granodiorite-granite complex, which is widespread in the open part of the Middle Urals that confirms the existence of a large episode of collisional granitoid magmatism, common for the eastern sector of the Urals and the basement of the adjacent part of the West Siberian Plate.

Keywords: granitoids, U-Pb SIMS dating, eastern margin of the Middle Urals, basement of the West Siberian Plate.

Для цитирования: Смирнов В. Н., Иванов К. С., Коровко А. В. Результаты U-Pb SIMS датирования коллизионных гранодиорит-гранитных массивов Восточной зоны Среднего Урала // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 86. – С. 23–30. DOI: 10.52349/0869-7892_2021_86_23-30

Введение. Восточной зоной Урала принято называть полосу палеозойских вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных толщ, а также прорывающих их интрузивных тел, которая протягивается вдоль восточного края открытой части Урала [4; 11]. От расположенных к западу от нее уральских структур в пределах Среднего Урала эта полоса отделена крупным разрывным нарушением – Баженовской сутурой, которая трассируется мощной зоной сланцев и бластомилонитов с цепочками меланжированных тел серпентинитов [10]. В восточном направлении палеозойские комплексы этой зоны погружаются под чехол Западно-Сибирской плиты, являясь фундаментом ее западной, прилегающей к Уралу части [1]. Первичные геологические структуры Восточной зоны были сильно нарушены тектоническими движениями на протяжении коллизионного этапа развития региона. Возникшие при этом многочисленные разрывные нарушения представлены преимущественно левосторонними

сдвигами, местами осложненными надвигами неизвестной амплитуды. Преобладающая часть этих нарушений сечется гранодиорит-гранитными, монцодиорит-гранитными и гранитными массивами, породы которых не затронуты либо очень слабо затронуты деформациями, что свидетельствует о внедрении этих массивов после главных фаз тектонических движений. Достаточно убедительное обоснование возраста различных по составу коллизионных гранитоидов до настоящего времени отсутствует. В предлагаемой публикации впервые приводятся изотопно-геохронологические данные для пород гранодиорит-гранитных массивов Среднеуральского сегмента Восточной зоны, полученные U-Pb методом (SIMS) по циркону. Результаты проведенных исследований позволят уточнить имеющиеся представления о последовательности внедрения гранитоидов разного состава, а также оценить возрастные соотношения процессов гранитообразования и тектонических движений

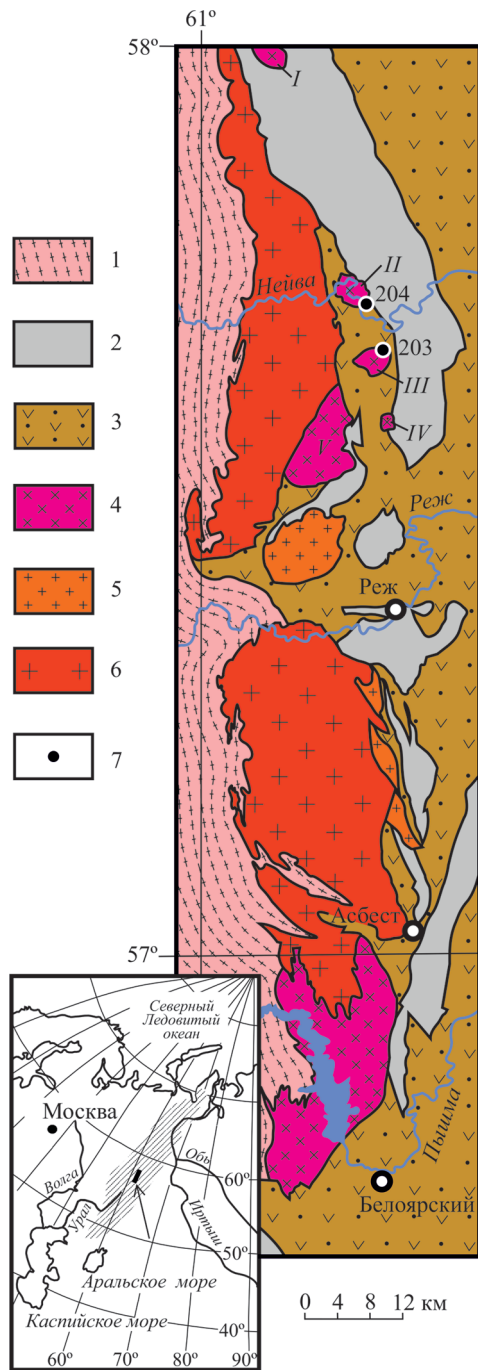


Рис. 1. Схема геологического строения области сочленения Восточной зоны Среднего Урала и Мурзинско-Адуйского блока

1 – высокометаморфизованные толщи (кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты) Мурзинско-Адуйского кристаллического блока; 2 – ультрамафиты и габбро офиолитовой ассоциации; 3 – различные по составу и генезису ранне-среднепалеозойские породы Восточной зоны; 4–6 – гранитоиды коллизионного этапа развития: 4 – гранодиориты с подчиненным количеством гранитов, 5 – породы субщелочных (монцодиорит-гранитных и гранитных) массивов, 6 – граниты нормальной и очень слабо повышенной щелочности; 7 – точки отбора проб для изотопно-геохронологических исследований. Гранодиорит-гранитные массивы Восточной зоны: I – Ново-Северный, II – Старокривчанский, III – Новокривчанский, IV – Ленёвский, V – Малоклевакинский. Косой штриховкой на карте-врезке показано положение Уральского подвижного пояса

на протяжении коллизионного этапа развития рассматриваемого региона.

Геологическое положение и краткая характеристика датированных гранодиорит-гранитных массивов. Гранодиорит-гранитные массивы Восточной зоны Среднего Урала представляют собой небольшие по размеру тела (от 4 до 8 км в поперечнике) субизометричной или слабоудлиненной в субмеридиональном направлении формы. Цепочка интрузивных тел гранодиорит-гранитного состава, включающая Ново-Северный, Старокривчанский, Новокривчанский, Ленёвский и Малоклевакинский массивы, протягивается вдоль западной границы этой зоны с Мурзинско-Адуйским кристаллическим блоком (рис. 1). Для определения времени формирования интрузивных тел этого типа были отобраны пробы гранитоидов из двух наиболее типичных для рассматриваемой части Урала и практически не затронутых коллизионными деформациями массивов Старокривчанского и Новокривчанского, расположенных на незначительном удалении друг от друга.

Оба массива обладают размером около 4 км в поперечнике и близкой к изометричной формой в плане. Вмещающие их породы представлены в разной степени деформированными вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными породами ранне-среднедевонского возраста и ультрамафитами офиолитовой ассоциации, часто превращенными в сланцы, бластомилониты и серпентинитовый меланж, что обусловлено расположением этих толщ в пределах Баженовской шовной зоны. Контакты гранодиорит-гранитных массивов с тектонизированными вмещающими породами – рвущие интрузивные с широким развитием ороговикованных и метасоматически измененных пород. Старокривчанский и Ленёвский массивы секут тектонический контакт между ультрамафитами Алапаевского офиолитового массива и девонскими вулканогенно-осадочными толщами.

Формирование массивов включало три фазы внедрения магматических расплавов. Продуктами кристаллизации расплава первой фазы являются кварцевые диориты. Породы второй (главной) интрузивной фазы варьируются по составу от гранодиоритов до гранитов. Третья (жильная) фаза представлена маломощными дайками аплитов и пегматоидных гранитов. По соотношению гранитоидов разного состава датированные интрузии имеют некоторые отличия. Слабоэродированный Старокривчанский массив сложен гранодиоритами и гранитами при небольшом преобладании последних. В составе более сильноэродированного Новокривчанского массива преобладают гранодиориты, в ограниченном количестве присутствуют кварцевые диориты.

По петрохимическим особенностям гранитоиды описываемых интрузивных тел практически идентичны (табл. 1). Содержание щелочей в них находится на максимальном для пород нормального ряда уровне и в отдельных пробах достигает

Таблица 1

Содержание
петрогенных (мас. %) и редких (ppm) элементов
в типичных разновидностях гранитоидов
датированных массивов

Компо- ненты	1	2	3	4
SiO ₂	62,44	66,60	65,64	70,30
TiO ₂	0,580	0,493	0,430	0,329
Al ₂ O ₃	16,66	15,77	15,85	14,82
Fe ₂ O ₃	1,35	3,07	1,50	1,93
FeO	3,01	0,70	1,60	0,40
MnO	0,100	0,064	0,050	0,036
MgO	2,19	1,95	1,89	1,52
CaO	4,12	3,52	3,07	2,36
Na ₂ O	5,15	4,30	5,24	4,25
K ₂ O	2,34	2,53	2,44	3,30
P ₂ O ₅	0,30	0,29	0,20	0,14
п.п.п.	1,73	0,70	2,22	0,60
Сумма	99,97	99,98	100,13	99,99
Li	33	16	27	15
Rb	36	46	33	43
Cs	3,49	1,85	3,61	1,25
Be	0,84	0,72	1,11	1,12
Sr	528	580	330	393
Ba	746	467	883	565
Sc	4,50	7,36	2,26	5,22
V	41	52	23	30
Cr	19	21	18	22
Co	6,04	6,86	3,94	4,50
Ni	8,23	11,23	14,52	14,69
Y	6,64	7,30	3,17	2,93
Nb	7,47	7,80	6,75	7,45
Ta	0,58	0,74	0,67	0,70
Zr	29,72	24,68	44,77	46,02
Hf	1,43	0,83	2,12	1,40
Pb	8,97	8,59	12,39	13,56
U	1,89	1,23	1,61	1,74
Th	4,03	5,11	4,03	8,68
La	29,12	13,96	21,91	6,67
Ce	50,56	34,29	43,95	19,68
Pr	7,33	4,23	5,25	2,24
Nd	28,07	16,87	19,30	8,73
Sm	5,00	3,15	3,26	1,56
Eu	1,45	0,92	0,98	0,49
Gd	3,40	2,18	2,21	1,05
Tb	0,36	0,25	0,23	0,12
Dy	2,11	1,39	1,32	0,70
Ho	0,37	0,26	0,24	0,12
Er	0,96	0,69	0,63	0,33
Tm	0,14	0,10	0,08	0,05
Yb	0,86	0,61	0,53	0,28
Lu	0,13	0,09	0,08	0,04

Примечание: 1, 2 – кварцевый диорит (пр. 2023/57) и гранодиорит (206) Новокривчанского массива; 3, 4 – гранодиорит (4711) и гранит (208) Старокривчанского массива. Анализы выполнены в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН.

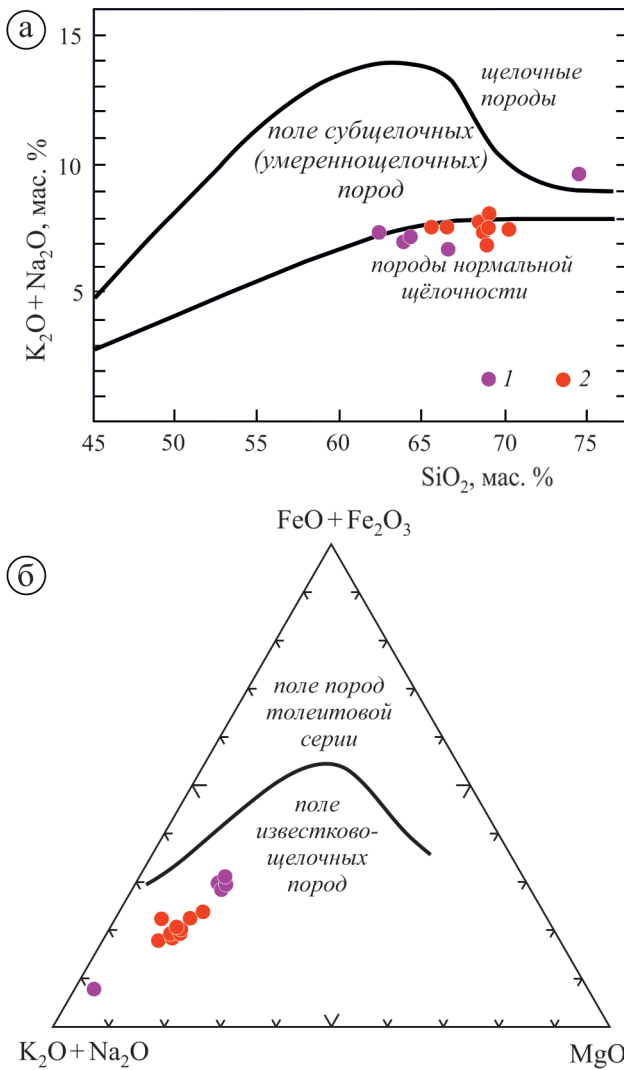


Рис. 2. Положение фигуративных точек гранитоидов датированных массивов на петрохимических диаграммах

a – дискриминационная диаграмма K₂O + Na₂O – SiO₂ для разделения пород щелочного, субщелочного (умереннощелочного) и нормального рядов [3]; *б* – диаграмма AFM (линия, разграничивающая поля толеитовой и известково-щелочной серий) проведена по Т. Ирвину и В. Барагару [13]). Фигуративные точки гранитоидов Новокривчанского (1) и Старокривчанского (2) массивов

величин, соответствующих субщелочным разновидностям (рис. 2, *a*). Натрий во всех петрографических разновидностях преобладает над калием (величина Na₂O/K₂O изменяется от 5 в кварцевых диоритах до 1–1,5 в гранитах и аплитах). На диаграмме AFM фигуративные точки гранитоидов образуют тренд, типичный для пород известково-щелочной серии (рис. 2, *б*). Суммарное содержание редких земель, среди которых преобладают элементы легкой части спектра, закономерно понижается с ростом кремнекислотности пород от 120–130 ppm в кварцевых диоритах до 80–100 ppm в гранодиоритах и 30–60 ppm в гранитах (табл. 1, рис. 3, *a*). Величина (La/Yb)_n колеблется от 15 до 30 в кварцевых диоритах и гранодиоритах и от 11 до 18 в гранитах. Мультиэлементные графики нормализованного

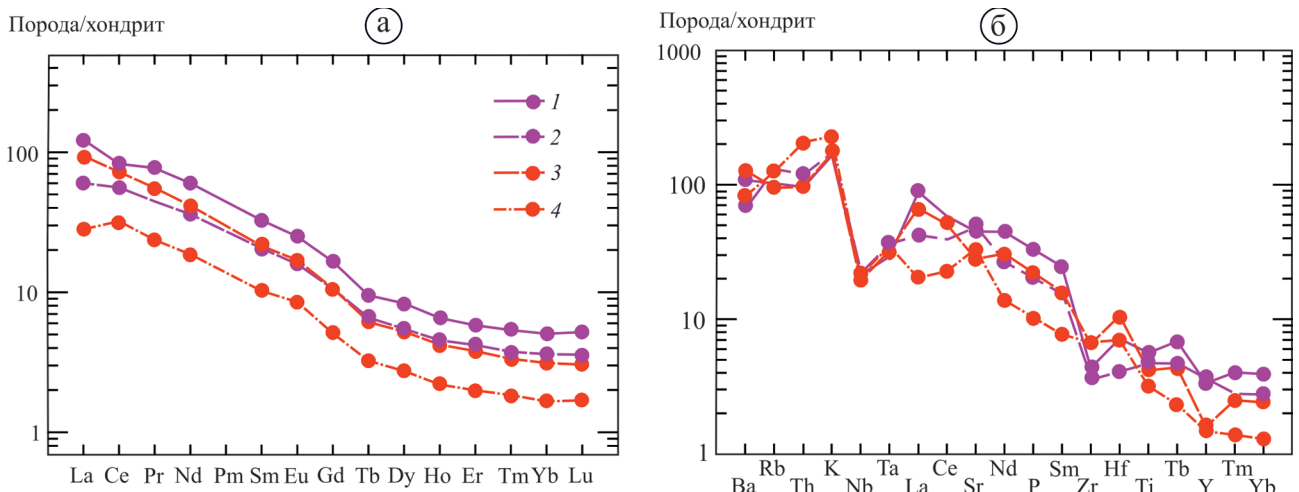


Рис. 3. Нормированное к хондриту распределение редкоземельных (а по [15]) и редких и рассеянных элементов (б по [16]) в породах датированных гранодиорит-гранитных массивов

Новокривчанский массив: 1 – кварцевый диорит (2023/57), 2 – гранодиорит (206). Старокривчанский массив: 3 – гранодиорит (4711), 4 – гранит (208)

по хондриту распределения редких и рассеянных элементов в гранитоидах датированных массивов характеризуются наличием отчетливо выраженных отрицательных аномалий высокозарядных элементов Nb, Ta, Zr, Ti, Y и положительных аномалий некоторых крупноионных литофильных элементов Ba, Rb, K (табл. 1, рис. 3, б).

Фактический материал и методика проведенных изотопно-геохронологических исследований. Отобранные для изотопного датирования пробы представлены наиболее характерными для массивов рассматриваемого типа петрографическими разновидностями. Проба 203 извлечена из гранодиоритов главной интрузивной фазы, вскрытых придорожным карьером на юго-западной окраине деревни Новые Кривки (северная часть Новокривчанского массива; координаты точки отбора – $57^{\circ}39,589'$ с. ш., $61^{\circ}22,487'$ в. д.), пр. 204 – из гранитов главной фазы, обнажающихся в северо-западном борту карьера Сусанского золоторудного месторождения (южная часть Старокривчанского массива; координаты – $57^{\circ}42,830'$ с. ш., $61^{\circ}20,331'$ в. д.). Выделение циркона проводилось с использованием обычного набора методов, включающих дробление пробы, промывку издробленного материала в воде до серого шлиха, магнитную сепарацию, разделение в тяжелых жидкостях и ручной отбор зерен циркона под биноклем. При выборе точек для датирования использовались оптические и катодолюминесцентные изображения зерен. Анализ U-Pb изотопной системы цирконов выполнялся на вторично-ионном микрозонде SHRIMP II (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ) по стандартной методике [14; 17].

Результаты изучения циркона. Выделенные из двух изученных проб цирконы по морфологии, размерам и внутреннему строению зерен очень

близки между собой (рис. 4). Они представлены идиоморфными, как правило, бесцветными кристаллами призматической формы, в виде исключения встречаются зерна с бледной желтоватой окраской. Размер зерен меняется от 200 до 800 мкм по длинной оси и от 100 до 350 мкм в поперечнике. Коэффициент удлинения варьируется от 2 до 4, но обычно находится в пределах 2–2,5. Катодолюминесцентные снимки показывают, что все зерна обладают отчетливо выраженной тонкой ритмичной ростовой зональностью.

В цирконах обеих проб было выполнено по пять измерений изотопного состава в центральных частях зерен и по пять – в их внешних зонах. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2.

На диаграмме $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (рис. 5, а) для цирконов из гранодиорита Новокривчанского массива (пр. 203) восемь из десяти проанализированных точек образуют компактную группу. Среднее значение конкордантного возраста по цирконам этой группы составляет $305,6 \pm 3,1$ млн лет при СКВО = 0,60 и вероятности конкордантности 0,44. При этом по двум точкам измерения, расположенным в центральных частях зерен циркона, получен значительно более древний возраст: ~ 380 млн лет – точка 2.1 и ~ 360 млн лет – точка 5.1 (см. табл. 2 и рис. 5, а).

На этой же изотопной диаграмме для циркона из гранита Старокривчанского массива (пр. 204) восемь точек, оставшихся после отбраковки двух замеров по зерну с нарушенной U-Pb изотопной системой (2.1 и 2.2), компактно располагаются на конкордии, определяя возраст $315 \pm 1,2$ млн лет при СКВО = 0,46 и величине конкордантности 0,50 (рис. 5, б).

Не вызывает сомнения, что полученные по преобладающей части изученного циркона значения возраста ($305,6 \pm 3,1$ млн лет для Новокривчанского и $315 \pm 1,2$ млн лет для Старокривчанского

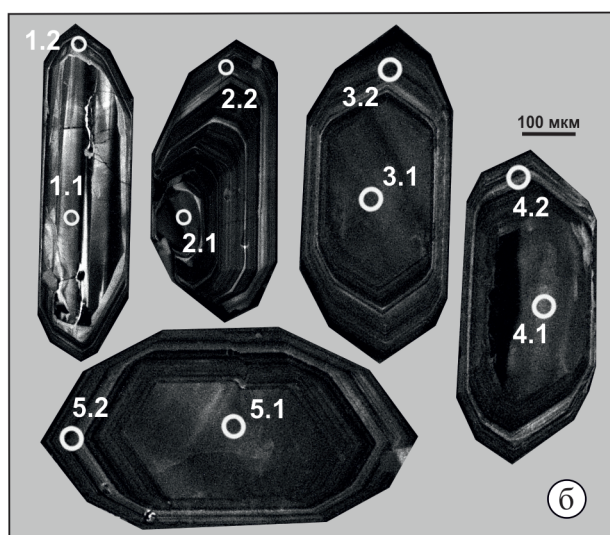
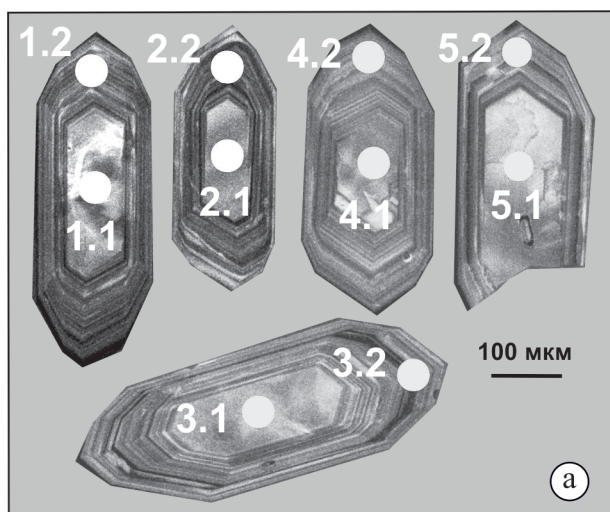


Рис. 4. Катодолуминесцентные снимки зерен циркона из гранодиорита Новокривчанского массива, пр. 203 (а) и гранита Старокривчанского массива, пр. 204 (б)

массивов) следует отождествлять со временем кристаллизации гранитоидов из магматического расплава. Наличие значительно более древних возрастов (360 и 380 млн лет), полученных по циркону центральных частей двух проанализированных зерен в пр. 203, свидетельствует о ядрах более древнего циркона, захваченного магматическим расплавом из вмещающих пород на месте его генерации или в процессе перемещения в верхние горизонты коры.

Обсуждение полученных данных. Результаты проведенных исследований показывают, что образование гранодиорит-гранитных массивов в пределах Восточной зоны Среднего Урала происходило во второй половине каменноугольного периода на протяжении достаточно продолжительного промежутка времени от 315 до 306 млн лет назад. Массивы рассматриваемого типа секут разрывные нарушения, которые создают современную тектоническую структуру района, возникшую на коллизионном этапе развития

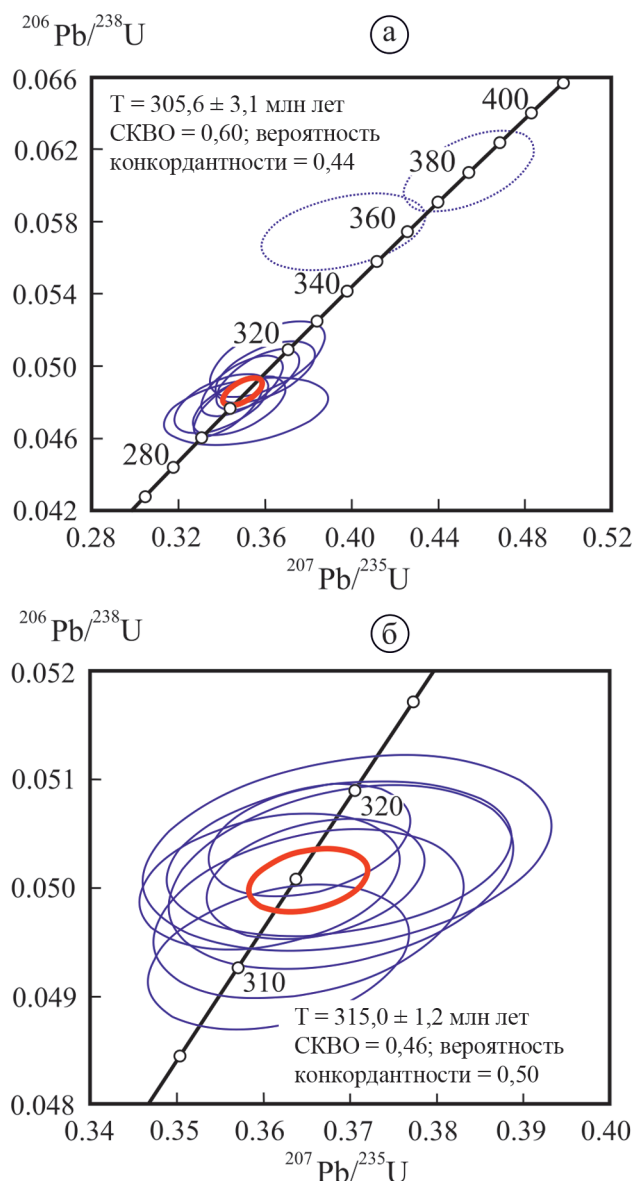


Рис. 5. Изотопные U-Pb диаграммы с конкордией для цирконов гранитоидов

а – гранодиорит Новокривчанского массива, пр. 203; б – гранит Старокривчанского массива, пр. 204

региона. Гранитоиды активно воздействуют (ороговивывают и метасоматически изменяют) на сланцы и бластомилониты, образование которых было связано с наиболее ранним и максимально широко проявившимся в пределах Баженовской сутуры этапом деформаций [10]. Считается, что деформации этого этапа были обусловлены левосдвиговыми смещениями значительной амплитуды [5], протекавшими в условиях режима транспрессии при косой коллизии Русской платформы и Казахстанского континента [2; 7]. При этом более поздние коллизионные деформации сбросо-сдвигового характера, датированные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом, имеют значительно более молодой по сравнению с рассматриваемыми гранитоидами возраст около 251 млн лет [10]. Изложенные данные доказывают, что процесс формирования

Таблица 2

Результаты изучения U-Rb изотопной системы цирконов

Номера точек измерения	$^{206}\text{Pb}_{\text{сз}}$ %	Содержание, ppm			$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	Возраст, млн лет		Изотопные отношения (1)					Коэффициент коррекции ошибок			
		U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (1)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (2)	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$ ± %	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ ± %	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ± %	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ± %	± %	± %			
Цирконы из гранодиорита Новокривчанского массива, пр. 203																
203 1.1	0,07	370	65	15,2	0,18	$301,7 \pm 4,2$	$302,1 \pm 4,3$	20,87	1,4	0,0514	2,1	0,3397	2,6	0,04792	1,4	0,554
203 1.2	0,11	662	190	27,8	0,30	$307,8 \pm 4,1$	$308 \pm 4,2$	20,45	1,4	0,05181	1,7	0,3493	2,2	0,0489	1,4	0,632
203 2.1	0,09	255	68	13,4	0,28	$380,4 \pm 5,4$	$380,5 \pm 5,5$	16,45	1,5	0,0541	2,3	0,454	2,7	0,06079	1,5	0,537
203 2.2	0,00	518	146	21,9	0,29	$309,9 \pm 4,2$	$310 \pm 4,3$	20,3	1,4	0,05247	1,7	0,3564	2,2	0,04925	1,4	0,641
203 3.1	0,31	224	70	9,16	0,32	$299,2 \pm 4,8$	$298,7 \pm 4,8$	21,05	1,6	0,0535	4,1	0,351	4,4	0,0475	1,6	0,369
203 3.2	0,14	1109	244	45,5	0,23	$300,5 \pm 4,0$	$300,6 \pm 4,0$	20,96	1,4	0,05213	1,3	0,3429	1,9	0,04772	1,4	0,708
203 4.1	0,17	399	108	17,3	0,28	$316,8 \pm 5,4$	$361,7 \pm 5,4$	19,85	1,7	0,052	2,4	0,361	3	0,05038	1,7	0,585
203 4.2	0,10	401	97	17,1	0,25	$312,5 \pm 4,3$	$317,1 \pm 4,4$	20,13	1,4	0,0526	2,1	0,36	2,6	0,04967	1,4	0,558
203 5.1	0,37	250	59	12,4	0,24	$360 \pm 5,4$	$361,7 \pm 5,4$	17,41	1,5	0,05	3,6	0,396	3,9	0,05744	1,5	0,387
203 5.2	0,10	408	84	16,8	0,21	$301 \pm 4,2$	$300,9 \pm 4,2$	20,92	1,4	0,0528	2,1	0,348	2,5	0,0478	1,4	0,563
Цирконы из гранита Старокривчанского массива, пр. 204																
204 1.1	0,00	303	129	13,1	0,44	$316,5 \pm 2,2$	$316,3 \pm 2,3$	19,870	0,7	0,0533	2,5	0,3696	2,6	0,5032	0,7	0,3
204 1.2	0,07	1305	388	56,2	0,31	$315,0 \pm 1,4$	$314,9 \pm 1,4$	19,968	0,5	0,0530	1,4	0,3660	1,4	0,5008	0,5	0,3
204 2.1	4,24	1140	210	49,3	0,19	$303,6 \pm 7,2$	$299,5 \pm 5,8$	20,740	2,4	0,0630	26	0,4200	26	0,04820	2,4	0,1
204 2.2	2,37	948	348	37,4	0,38	$283,1 \pm 1,8$	$280,2 \pm 1,3$	22,280	0,7	0,0604	6,6	0,3740	6,6	0,04489	0,7	0,1
204 3.1	0,00	553	126	23,6	0,24	$313,0 \pm 1,9$	$312,8 \pm 2,0$	20,100	0,6	0,0532	1,9	0,3652	2,0	0,04976	0,6	0,3
204 3.2	0,00	817	191	34,6	0,24	$310,6 \pm 1,7$	$310,4 \pm 1,7$	20,260	0,6	0,0532	1,6	0,3617	1,7	0,04936	0,6	0,3
204 4.1	0,00	476	104	20,5	0,23	$315,1 \pm 2,1$	$314,9 \pm 2,2$	19,960	0,7	0,0534	2,0	0,3689	2,2	0,05010	0,7	0,3
204 4.2	0,07	918	236	39,5	0,27	$314,9 \pm 1,6$	$315,1 \pm 1,6$	19,970	0,5	0,0523	1,6	0,3607	1,7	0,05006	0,5	0,3
204 5.1	0,13	678	155	29,3	0,24	$316,2 \pm 1,8$	$316,0 \pm 1,8$	19,890	0,6	0,0532	2,1	0,3687	2,2	0,05027	0,6	0,3
204 5.2	0,00	1474	465	63,9	0,33	$317,2 \pm 1,3$	$317,3 \pm 1,3$	19,826	0,4	0,0525	1,2	0,3653	1,3	0,05044	0,4	0,3

Примечание. Погрешности приведены для интервала $\pm 1\text{s}$. $\text{Pb}_{\text{с}}$ и Pb^* – нерadioгенный и radioгенный свинцы соответственно. Погрешности калибровки стандарта TEMORA составили 0,34 % при анализе пр. 203 и 0,21 % при анализе пр. 204. (1) Нерadioгенный Pb скорректирован по измеренному ^{204}Pb . (2) Нерadioгенный Pb – по assuming $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ age-concordance. Расчет U-Pb возрастов проводился с использованием программы ISOPLOT. Аналитики П. А. Львов и Е. Н. Лепехина.

датированных гранодиорит-гранитных массивов укладывается во временные рамки коллизионного этапа развития региона.

Результаты U-Pb датирования пород гранодиорит-гранитных массивов Восточной зоны Среднего Урала свидетельствуют о том, что их внедрение происходило синхронно с формированием широко развитого в пределах открытой части подвижного пояса верхисетского гранодиорит-гранитного комплекса, возраст которого определяется интервалом 315–300 млн лет [6; 8; 9; 12]. Таким образом, полученные к настоящему времени изотопно-геохронологические данные фиксируют крупный эпизод коллизионного гранитоидного магматизма в промежутке времени от 315 до 300 млн лет назад, на протяжении которого произошло внедрение многочисленных гранодиорит-гранитных массивов по всей ширине восточного сектора Среднего Урала и в фундаменте прилегающей к нему части Западно-Сибирской плиты.

Авторы выражают благодарность П. А. Львову и Е. Н. Лепёхиной за проведение аналитических исследований. Статья подготовлена в процессе проведения работ по госбюджетной теме ИГГ УрО РАН АААА-А18-118052590032-6 «Палеогеодинамика и эволюция структурно-вещественных комплексов при формировании земной коры континентального типа (на примере Урало-Монгольского складчатого пояса и Западно-Сибирской платформы)».

1. Геологическое строение фундамента Приуральской части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна / К. С. Иванов, Ю. Н. Федоров, Ю. В. Ерохин, В. С. Пономарев. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. – 302 с.

2. Иванов К. С. Основные черты геологической истории (1,6–0,2 млрд лет) и строения Урала. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. – 253 с.

3. Классификация и номенклатура магматических горных пород / О. А. Богатиков, В. И. Гоньшакова, С. В. Ефремова и др. – М.: Недра, 1981. – 160 с.

4. Коротеев В. А., Дианова В. А., Кабанова Л. Я. Среднепалеозойский вулканизм Восточной зоны Урала. – М.: Наука, 1979. – 130 с.

5. Плюснин К. П. Методика изучения тектонических структур складчатых поясов (на примере Урала). – Пермь, 1971. – 217 с.

6. Прибавкин С. В., Пушкарев Е. В. Возраст поздних орогенных гранитоидов Урала по данным U-Pb-изотопии цирконов (на примере Шарташского и Шабровского массивов) // Докл. РАН. – 2011. – Т. 438, № 3. – С. 369–373.

7. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.

8. Смирнов В. Н., Иванов К. С. Геодинамические условия формирования гранитоидов Верхисетского батолита (восточный склон Среднего Урала) // Докл. РАН. – 2013. – Т. 451, № 1. – С. 65–67.

9. Смирнов В. Н., Иванов К. С., Ларионов А. Н. Возраст и геодинамические условия формирования Верхисетского батолита, восточный склон Среднего Урала (по результатам U-Pb SIMS-датирования цирконов) //

Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2014. – Т. 22, № 6. – С. 26–44.

10. Смирнов В. Н., Иванов К. С., Травин А. В. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст деформаций пород в Баженовской шовной зоне (восточная окраина Среднего Урала) // Литосфера. – 2019. – № 2. – С. 242–249.

11. Смирнов В. Н., Ферштатер Г. Б., Иванов К. С. Схема тектоно-магматического районирования территории восточного склона Среднего Урала // Литосфера. – 2003. – № 2. – С. 45–56.

12. Смирнов В. Н. Результаты U-Pb-датирования цирконов из гранитоидов Верхисетского и Краснопольского массивов (восточный склон Среднего Урала) / В. Н. Смирнов, К. С. Иванов, С. П. Шокальский, И. П. Падерин // Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 48. – С. 50–59.

13. Irvine T. E., Baragar W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1971. – Vol. 8, no. 5. – Pp. 523–548.

14. Larionov A. N., Andreicheva V. A., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society, London, Memoirs. – 2004. – Vol. 30. – Pp. 69–74.

15. Sun S.-S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basins / ed. by A. D. Saunders and M. J. Norry. – London: Geological Society of London, 1989. – No. 42. – Pp. 313–345.

16. Thompson R. N. British Tertiary volcanic province // Scottish Journal of Geology. – 1982. – No. 18. – Pp. 49–107.

17. Williams I. S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe // Reviews in Economic Geology. – 1998. – No. 7. – Pp. 1–35.

1. Ivanov K. S., Fedorov Yu. N., Erokhin Yu. V., Ponomarev V. S. Geologicheskoe stroenie fundamenta Priural'skoy chasti Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseyna [The geological structure of the base the Ural part of the West Siberian petroleum megabasin]. Ekaterinburg, 2016, 302 p.

2. Ivanov K. S. Osnovnye cherty geologicheskoy istorii (1,6–0,2 mlrd let) i stroeniya Urala [Basic features of geological history (1.6–0.2 billion years) and structure of the Urals]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 1998, 253 p.

3. Bogatikov O. A., Gon'shakova V. I., Efremova S. V. et al. Klassifikatsiya i nomenklatura magmaticheskikh gornyx porod [Classification and nomenclature of magmatic rocks]. Moscow, Nedra, 1981, 160 p.

4. Koroteev V. A., Dianova V. A., Kabanova L. Ya. Srednepaleozoyskiy vulkanizm Vostochnoy zony Urala [Middle Paleozoic volcanism of the Eastern zone of the Urals]. Moscow, Nauka, 1979, 130 p.

5. Plyusnin K. P. Metodika izucheniya tektonicheskikh struktur sklachatykh poyasov (na primere Urala) [Methods of studying the tectonic structures of fold belts (on the example of the Urals)]. Perm', 1971, 217 p.

6. Pribavkin S. V., Pushkarev E. V. The age of Late Orogenic granitoids of the Urals based on U-Pb isotope dating of zircons (exemplified by the Shartash and Shabry massifs). *Doklady Earth Sciences*, 2011, vol. 438, no. 3, pp. 369–373. (In Russian).

7. Puchkov V. N. Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and the Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, Dizayn-PoligrafServis, 2010, 280 p.

8. Smirnov V. N., Ivanov K. S. Geodinamicheskie usloviya formirovaniya granitoidov Verkhisetskogo batolita (vostochnyy sklon Srednego Urala). *Doklady Earth Sciences*, 2013, vol. 451, no. 1, pp. 65–67. (In Russian).

9. Smirnov V. N., Ivanov K. S., Larionov A. N. The U-Pb SIMS zircon age and geodynamic conditions of formation of granitoides of the Verkhisetsk batholith, the eastern slope of the Middle Urals. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2014, vol. 22, no. 6, pp. 26–44. (In Russian).
10. Smirnov V. N., Ivanov K. S., Travin A. V. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of rock deformations across the Bazhenov suture zone (eastern border of the Middle Urals). *Litosfera*, 2019, no. 2, pp. 242–249. (In Russian).
11. Smirnov V. N., Fershtater G. B., Ivanov K. S. Skhema tektono-magmaticheskogo rayonirovaniya territorii vostochnogo sklona Srednego Urala [Scheme of tectonic-magmatic zoning of the territory of the eastern slope of the Middle Urals]. *Litosfera*, 2003, no. 2, pp. 45–56. (In Russian).
12. Smirnov V. N., Ivanov K. S., Shokal'skiy S. P., Paderin I. P. Rezul'taty U-Pb datirovaniya tsirkonov iz granitoidov Verkhisetskogo i Krasnopol'skogo massivov (vostochnyy sklon Srednego Urala) [Results of U-Pb dating of zircons from granitoids of the Verkhisetsky and Krasnopolsky massifs (eastern slope of the Middle Urals)]. *Regional Geology and Metallogeny*, 2011, no. 48, pp. 50–59. (In Russian).
13. Irvine T. E., Baragar W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1971, vol. 8, no. 5, pp. 523–548.
14. Larionov A. N., Andreicheva V. A., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite. *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society, London, Memoirs*, 2004, vol. 30, pp. 69–74.
15. Sun S.-S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders, A. D. and Norry, M. J. (eds.): *Magmatism in the ocean basins. London: Geological Society of London*, 1989, no. 42, pp. 313–345.
16. Thompson R. N. British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, 1982, no. 18, pp. 49–107.
17. Williams I. S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. *Reviews in Economic Geology*, 1998, no. 7, pp. 1–35.

Смирнов Владимир Николаевич – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ИГГ УрО РАН¹. <smirnov@igg.uran.ru>
Иванов Кирилл Святославич – доктор геол.-минерал. наук, зав. лабораторией, ИГГ УрО РАН¹. <ivanovks@igg.uran.ru>
Коровко Анатолий Васильевич – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотрудник, ИГГ УрО РАН¹.

Smirnov Vladimir Nikolaevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, IGG UB RAS¹. <smirnov@igg.uran.ru>
Ivanov Kirill Svyatoslavich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Laboratory, IGG UB RAS¹. <ivanovks@igg.uran.ru>
Korovko Anatoliy Vasil'evich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, IGG UB RAS¹.

¹ Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН). Ул. Академика Вонсовского, 15, Екатеринбург, Россия, 620016.
The Federal State Institution of Science the Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IGG UB RAS). 15 Ul. Akademika Vonsovskogo, Ekaterinburg, Russia, 620144.