

Первые результаты изотопного (U-Pb, ID-TIMS) датирования единичных зерен циркона из долеритовых даек Восточной зоны Урала

В. Н. Смирнов¹, К. С. Иванов¹, Т. Б. Баянова²

¹Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,
e-mails: smirnov@igg.uran.ru, ivanovks@igg.uran.ru

²Геологический институт КНЦ РАН, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14, e-mail: tamara@geoksc.apatity.ru

Поступила в редакцию 08.05.2019 г., принята к печати 10.06.2019 г.

Объект исследований. В статье изложены результаты датирования двух различающихся по геохимическим особенностям долеритовых даек из разреза по р. Исеть в районе с. Смолинское (Восточная зона Среднего Урала). **Методы изучения.** Датирование выполнено U-Pb ID-TIMS методом по единичным зернам циркона с использованием искусственного $^{205}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ трассера в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии Геологического института КНЦ РАН. Измерения изотопного состава свинца и концентраций урана и свинца проводились на семи-канальном масс-спектрометре Finnigan-MAT (RPQ) в динамическом режиме с использованием умножителя и квадрупольной приставки RPQ в режиме счета ионов. **Результаты.** Для одной из датированных даек получен возраст 330 ± 3 млн лет, для другой – 240 ± 2 млн лет. **Выводы.** Результаты исследований свидетельствуют о разновозрастности долеритовых даек, развитых в пределах Восточной зоны Среднего Урала. Более древний из двух установленных возрастных уровней внедрения этих даек соответствует раннекаменноугольной эпохе, что, наряду с близостью долеритов по петрохимическим особенностям базальтоидам раннекаменноугольного бекленищевского вулканического комплекса, позволяет рассматривать их в качестве гипабиссальных комагматов этих вулканитов. Более молодой, триасовый, возрастной уровень свидетельствует о том, что внедрение части долеритовых даек было связано с завершающими фазами формирования траппов, развитых местами в пределах восточной окраины Урала и очень широко далее к востоку в фундаменте (доюрском основании) Западно-Сибирской плиты.

Ключевые слова: долериты, Восточная зона Среднего Урала, ID-TIMS датирование

Благодарность

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)”.

The first results of isotopic (U-Pb, ID-TIMS) dating of individual zircon grains from dolerite dikes of the Eastern zone of the Urals

Vladimir N. Smirnov¹, Kirill S. Ivanov¹, Tamara V. Bayanova²

¹A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg 620016, Russia, e-mails: smirnov@igg.uran.ru, ivanovks@igg.uran.ru

²Geological Institute, Kola Science Centre of RAS, 14 Fersman st., Apatity 184209, Russia, e-mail: tamara@geoksc.apatity.ru

Received 08.05.2019, accepted 10.06.2019

Research subject. The article presents the results of dating two dolerite dikes differing in geochemical features from a section along the Iset river in the area of Smolinskoe settlement (the Eastern zone of the Middle Urals). **Materials and methods.** The dating was performed by an U-Pb ID-TIMS technique for single zircon grains using an artificial $^{205}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ tracer in the laboratory of geochronology and isotope geochemistry of the Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences. The lead isotopic composition and uranium and lead concentrations were measured using a Finnigan-MAT (RPQ) seven-channel mass spectrometer in dynamic mode using a secondary electron multiplier and RPQ quadrupole in ion counting mode. **Results.** The dikes were dated 330 ± 3 Ma and 240 ± 2 Ma. **Conclusions.** The research results indicate different ages of dolerite dikes developed within the Eastern zone of the Middle Urals. The

Для цитирования: Смирнов В.Н., Иванов К.С., Баянова Т.Б. (2020) Первые результаты изотопного (U-Pb, ID-TIMS) датирования единичных зерен циркона из долеритовых даек Восточной зоны Урала. *Литосфера*, **20**(2), 224-230. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-2-224-230

For citation: Smirnov V.N., Ivanov K.S., Bayanova T.V. (2020) The first results of isotopic (U-Pb, ID-TIMS) dating of individual zircon grains from dolerite dikes of the Eastern zone of the Urals. *Litosfera*, **20**(2), 224-230. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-2-224-230

© В.Н. Смирнов, К.С. Иванов, Т.Б. Баянова, 2020

oldest of the two established age levels corresponds to the Early Carboniferous era. This fact, along with the proximity of the dolerites to the petrochemical features of the basaltoids of the Early Carboniferous Beklenischevsky volcanic complex, allows these bodies to be considered as hypabyssal comagmates of these volcanics. The youngest obtained age level – Triassic – indicates that the introduction of some dolerite dikes was associated with the final phases of the trapp formation developed rarely within the eastern outskirts of the Urals and widely further east in the foundation (pre-Jurassic basement) of the West-Siberian Plate.

Keywords: *dolerites, Eastern zone of the Middle Urals, ID-TIMS dating*

Acknowledgments

The article was prepared in the framework of the state budget topic of the IGG UB RAS No. AAAA-A18-118052590032-6 "Paleogeodynamics and evolution of structural-material complexes during the formation of the continental-type crust (by the example of the Ural-Mongolian folded belt and the West Siberian platform)".

ВВЕДЕНИЕ

Урал является одним из мировых эталонов подвижных поясов с полным циклом геодинамического развития, а рудные месторождения региона во многом обеспечивают потребности страны в хроме, меди, цинке, ванадии и ряде других ископаемых. Восточнее "открытой" (горно-складчатой) части Урала палеозойские геологические комплексы уральского типа слагают фундамент Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна на значительной части его территории. Проблема структурных связей этих двух главнейших геолого-экономических регионов России имеет важное значение, в связи с чем все чаще привлекает внимание исследователей (Иванов и др., 2003; и др.). В настоящей работе изложены результаты изотопного датирования единичных зерен циркона с искусственным трассером $^{205}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ из долеритовых даек восточной окраины Среднего Урала, способствующие изучению этого вопроса.

Дайки долеритов очень широко распространены на всем протяжении среднеуральского сегмента Восточной зоны Урала, параллельной главным вулканогенным зонам этого подвижного пояса – Тагильской и Магнитогорской на расстоянии 80–100 км к востоку от них и погружающейся в восточном направлении под осадочный чехол Западно-Сибирской плиты (Коротеев и др., 1979; Смирнов и др., 2003). При этом их изученность остается сравнительно слабой ввиду ограниченной площади распространения долеритов и их слабой обнаженности. Данные о возрасте долеритов до настоящего времени ограничивались результатами визуальных наблюдений за геологическими взаимоотношениями даек долеритов и вмещающих их осадочных толщ.

Наиболее представительные выходы долеритовых даек наблюдаются в береговых обнажениях по р. Камышенка в ее нижнем течении и по р. Исеть в районе с. Смолинское, где они были впервые описаны Т.В. Диановой с соавторами (1975). Секущие слоистость тела и силлы долеритов и габбродолеритов залегают здесь в толще терригенно-

карбонатных отложений раннего карбона. На основании близости изученных долеритов по химическому составу развитым в том же районе базальтам, которые переслаиваются с визейскими осадками, эти авторы пришли к заключению о раннекаменноугольном возрасте даек. Позднее силлы и дайки долеритов совместно со штоками габбро были выделены в качестве смолинского габбродолеритового комплекса (Государственная геологическая карта..., 2011), к которому обычно относят все долеритовые дайки рассматриваемого региона. Однако изучение геохимических особенностей долеритов, выполненное в последнее десятилетие с использованием современных прецизионных методов анализа, показало, что они существенно варьируют по содержанию ряда главных породообразующих компонентов, особенно отчетливо по спектру элементов-примесей, что побудило авторов провести сопоставление времени образования долеритов, различающихся по вещественному составу.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДАТИРОВАННЫХ ДАЕК ДОЛЕРИТОВ

В качестве объекта датирования выбраны две существенно различающиеся по геохимическим особенностям дайки из наиболее представительно-го разреза по р. Исеть (рис. 1), описанного в работе Т.В. Диановой с соавторами (1975). Проба См-1 отобрана из скального обнажения долеритов Смолинский Камень, расположенного на левом берегу р. Исеть у северо-восточной окраины с. Смолинское (координаты: $56^{\circ} 56.525'$ с. ш. и $61^{\circ} 26.230'$ в. д.; рис. 2), проба См-2 – из коренного выхода на правом берегу р. Исеть в 600 м ниже южной окраины того же села (координаты: $56^{\circ} 56.392'$ с. ш. и $61^{\circ} 39.553'$ в. д.). Долериты изученных проб близки по составу и структурно-текстурным особенностям. Главными породообразующими минералами в них являются плагиоклаз и амфибол, в подчиненном количестве содержится клинопироксен, в качестве акцессорного постоянно присутствует рудный минерал. Структура офитовая, участка-

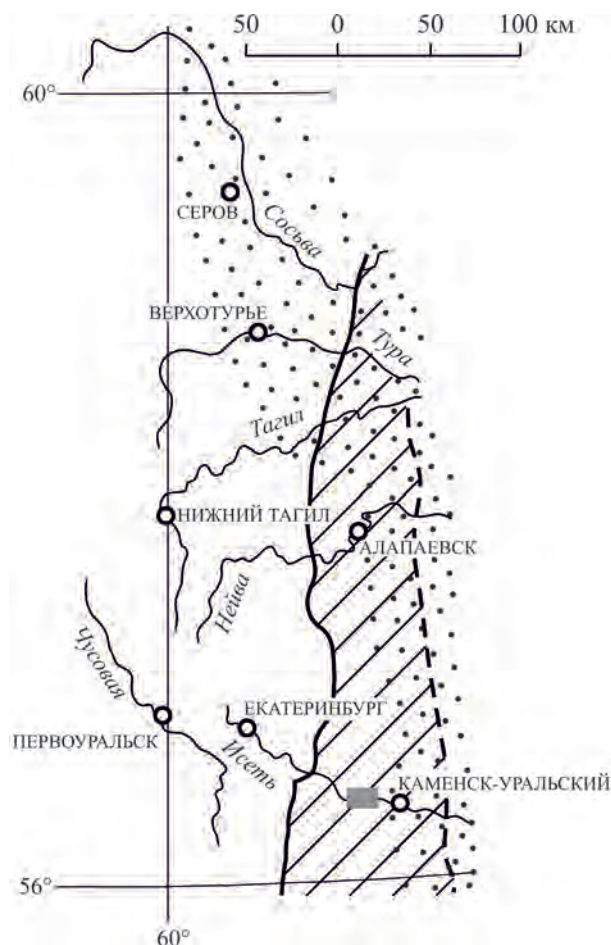


Рис. 1. Схема расположения участка отбора проб для изотопного датирования долеритов.

Косой штриховкой показано положение Восточной зоны Среднего Урала, крапом – площадь распространения осадочного чехла Западно-Сибирской плиты. Серый прямоугольник – участок отбора проб.

Fig 1. Layout of the sampling site for isotope dating of dolerites.

Oblique hatching shows the position of the Eastern zone of the Middle Urals, and the area of distribution of the sedimentary cover of the West Siberian plate. Gray rectangle – sampling area.

ми пойкилоофитовая. Процессы наложенных преобразований заключаются в неравномерном развитии низкотемпературных метаморфических минералов (пумпеллеита и хлорита), сосюритизации и альбитизации плагиоклаза. Более подробно характер залегания датированных даек и петрографические особенности слагающих их долеритов детально описаны в опубликованной ранее работе (Дианова и др., 1975). При близости петрографических особенностей долериты этих даек имеют хорошо выраженные различия по содержанию ряда петрогенных и большинства литофильных редких элементов (табл. 1). Наиболее наглядно это иллюстри-



Рис. 2. Скальный выход долеритов Смолинский Камень, место отбора пробы См-1.

Fig. 2. Smolinsky Stone dolerite rock outcrop, См-1 sampling site.

руют графики распределения редкоземельных элементов (рис. 3): спектры РЗЭ для долеритов пробы См-1 характеризуются преобладанием тяжелых лантаноидов ($(La/Yb)_n = 0.69$), в долеритах пробы См-2 наблюдаются обратная картина, т. е. легкие РЗЭ существенно преобладают над тяжелыми ($(La/Yb)_n = 1.56$). Наличие столь кардинальных различий в составе долеритов позволяет с достаточной степенью уверенности предполагать, что их внедрение было связано с разными эпизодами магматической активности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Выделение циркона проводилось с использованием обычного набора методов, включающего дробление пробы, промывку издробленного материала в воде до серого шлиха, магнитную сепарацию, разделение в тяжелых жидкостях и ручной отбор зерен циркона под биноклем.

Анализ изотопной U-Pb системы цирконов выполнен в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии Геологического института КНЦ РАН ме-

Таблица 1. Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в долеритах датированных проб

Table 1. The contents of major (wt %) and rare (ppm) elements in dolerites dated samples

Компонент	См-1	См-2
SiO ₂	44.62	44.92
TiO ₂	1.10	1.30
Al ₂ O ₃	14.10	13.91
Fe ₂ O ₃	7.10	7.31
FeO	3.00	4.70
MnO	0.15	0.17
MgO	10.63	11.22
CaO	10.18	7.48
Na ₂ O	2.44	2.88
K ₂ O	0.18	0.24
P ₂ O ₅	0.11	0.23
П.п.п.	6.70	5.40
Сумма	100.31	99.76
Li	29.75	24.20
Rb	13.69	13.06
Cs	0.63	0.52
Be	0.22	0.37
Sr	412	826
Ba	83	208
Sc	31	27
V	183	196
Cr	273	210
Co	37	39
Ni	103	108
Y	20.40	22.30
Nb	0.90	3.30
Ta	0.20	0.30
Zr	56.2	104.00
Hf	1.96	2.41
Pb	1.12	1.27
U	0.07	0.15
Th	Не обн.	0.14
La	1.90	4.78
Ce	6.56	14.41
Pr	1.21	2.13
Nd	7.12	11.01
Sm	2.55	3.19
Eu	1.05	1.36
Gd	3.48	4.31
Tb	0.57	0.65
Dy	3.59	4.12
Ho	0.78	0.84
Er	2.36	2.50
Tm	0.33	0.34
Yb	1.96	2.20
Lu	0.30	0.32

тодом ID-TIMS по единичным зернам с использованием искусственного ²⁰⁵Pb/²³⁵U трассера. Измерения изотопного состава свинца и концентраций урана и свинца проводились на семиканальном масс-спектрометре Finnigan-MAT (RPQ) в динамическом режиме с применением умножителя и квадрупольной приставки RPQ в режиме счета ионов.

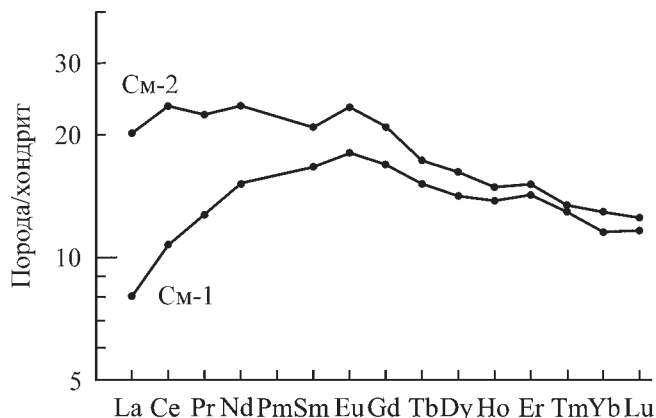


Рис. 3. Спектры распределения редкоземельных элементов в долеритах датированных даек (Sun, McDonough, 1989).

Fig. 3. Distribution spectra of rare earth elements in dolerites of dated dikes (Sun, McDonough, 1989).

Расчет координат точек и параметров изохрон осуществлялся по программам К. Людвига (Ludwig, 1991) с использованием значений констант распада, опубликованных в работе (Steiger, Jager, 1977).

РЕЗУЛЬТАТЫ ДАТИРОВАНИЯ

Преобладающая разновидность среди выделенных из пробы См-1 зерен циркона представлена обломками длиннопризматических кристаллов от водяно-прозрачного до светло-желтого цвета. Поверхность зерен очень слабо корродирована, блеск варьирует от стеклянного до жирного. Средние размеры кристаллов 0.175 × 0.035 мм, коэффициент удлинения около 2. Наряду с преобладающей разновидностью встречены уплощенные обломки полупрозрачного светло-желтого циркона, поверхность которых корродирована, блеск от стеклянного до жирного. Средние размеры таких зерен от 0.245 до 0.175 мм. Результаты изотопно-геохимического изучения цирконов приведены в табл. 2 и на рис. 4. Формирование циркона преобладающей разновидности, согласно полученным изотопным данным, происходило 330 ± 3 млн лет назад, что соответствует границе визейского и серпуховского веков раннекаменноугольной эпохи. Идиоморфный длиннопризматический облик зерен циркона этой разновидности, характерный для циркона магматического генезиса, позволяет связывать ее образование с процессом кристаллизации породы из магматического расплава. При изучении уплощенного зерна циркона (вторая разновидность) получен значительно более древний возраст – 600 ± 3 млн лет, соответствующий неопротерозою, который не может быть отождествлен со временем кристаллизации породы, поскольку рас-

Таблица 2. Изотопные U-Pb данные для единичных зерен циркона из долеритов**Table 2.** Isotopic U-Pb data for single grains of zircon from dolerites

№ проб	№ п.п.	Навеска, мг	Концентрация, г/т		Изотопные отношения*				Изотопные отношения и возраст, млн лет**			% дис.
			Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ($\pm 2\sigma$)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ($\pm 2\sigma$)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ($\pm 2\sigma$)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ($\pm 2\sigma$)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ($\pm 2\sigma$)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ($\pm 2\sigma$)	
См-1	1	0.04	5.44	32.92	135.88	0.097 ± 0.0009	0.805 ± 0.011	0.124 ± 0.001	597 ± 6	602 ± 8	611 ± 5	2.3
	2	0.06	17.08	44.20	28.51	0.053 ± 0.0008	0.387 ± 0.092	0.053 ± 0.012	331 ± 5	333 ± 79	341 ± 76	2.9
См-2	1	0.025	11.53	98.05	49.34	0.038 ± 0.0003	0.268 ± 0.024	0.053 ± 0.012	241 ± 2	241 ± 22	240 ± 20	-0.4

*Все отношения скорректированы на холостое загрязнение 1 пг для Pb, 10 пг для U и масс-дискриминацию $0.12 \pm 0.04\%$.

**Коррекция на примесь обыкновенного свинца определена на возраст по модели (Stacey, Kramers, 1975).

*All ratios are adjusted for idle contamination of 1 PG for Pb, 10 PG for U and mass discrimination of $0.12 \pm 0.04\%$.

**Correction for impurity of ordinary lead is determined for age by the model (Stacey, Kramers, 1975).

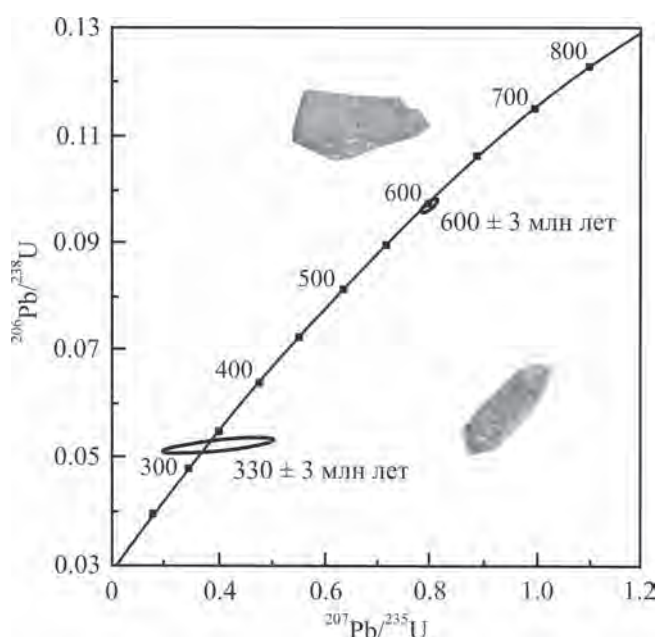


Рис. 4. Изотопная U-Pb-диаграмма с конкордией для единичных зерен циркона из долерита пробы См-1.

Fig. 4. U-Pb isotope diagram with Concordia for single grains of zircon from the Cm-1 dolerite sample.

смаатриваемая дайка прорывает фаунистически охарактеризованные раннекаменноугольные толщи. Таким образом, зерно циркона этой разновидности должно рассматриваться как реститовое либо ксеногенное.

Циркон пробы См-2 представлен однородными по форме и окраске обломками светло-желтых длиннопризматических кристаллов гиаинтового морфотипа. Зерна прозрачны, их поверхность слегка корродирована, блеск стеклянный. Средние размеры варьируют от 0.210 до 0.07 мм, коэффициент удлинения около 3. U-Pb возраст (ID-TIMS), полученный по циркону этой пробы, имеет величину 240 ± 2 млн лет (см. табл. 2, рис. 5).

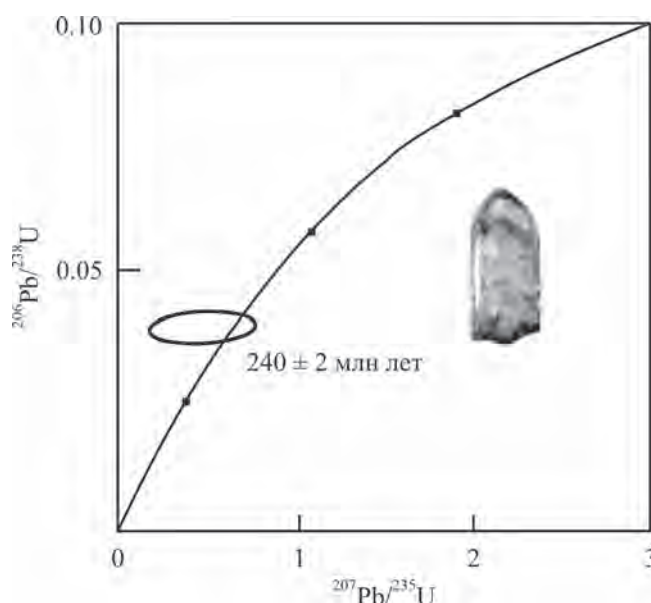


Рис. 5. Изотопная U-Pb-диаграмма с конкордией для единичного зерна циркона из долерита пробы См-2.

Fig. 5. U-Pb isotope diagram with Concordia for a single grain of zircon from the Cm-2 dolerite sample.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Результаты изотопно-геохронологических исследований единичных зерен циркона свидетельствуют о наличии значительного разрыва во времени формирования даек долеритов, различающихся по геохимическим особенностям. Раннекаменноугольный возраст, полученный для долеритов одной из датированных даек (330 млн лет), наряду с их близостью по петрохимическим особенностям базальтоидам раннекаменноугольного бекленищевского вулканического комплекса, отмеченной еще в работе Т.В. Диановой с соавторами (1975), позволяет рассматривать их в качестве гипабис-

сальных комагматов этих вулканитов и уверенно относить к смолинскому габбро-долеритовому комплексу.

Триасовый возраст другой дайки, равный 240 млн лет, показывает, что ее внедрение было связано с завершающими эпизодами формирования пород трапповой формации, развитых локально в пределах восточной окраины Урала и очень широко далее к востоку в фундаменте (доюрском основании) Западно-Сибирской плиты. Излияния траппов Западной Сибири, по данным многочисленных изотопных исследований, происходили в промежутке 260–240 млн лет назад, с максимумом интенсивности 252–250 млн лет (Иванов и др., 2005; Reichow et al., 2009; Сараев и др., 2011; и др.). Таким образом, полученный возраст циркона свидетельствует о том, что датированную дайку следует считать аналогом гипабиссальных долеритовых интрузий, наблюдающихся в более восточных районах среди полей развития эффузивов траппового типа, где они выделены в качестве туринского габбро-долеритового комплекса среднетриасового возраста (Государственная геологическая карта..., 2011). Внедрение долеритовых даек траппового типа происходило в восточной части Уральского подвижного пояса в условиях постколлизиионного растяжения (Иванов, 1998) и, по-видимому, было обусловлено влиянием крупной глубинной структуры планетарного масштаба – Сибирского суперплюма (Добрецов, 1997; и др.). Полученные данные подтверждают сделанный ранее вывод о наличии ряда общих особенностей в геологической истории Урала и Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна (Ivanov et al., 2013; и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Л. О-41 – Екатеринбург. Объяснительная записка (2011). СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 492 с.
- Дианова Т.В., Олерский В.П., Соляник В.Н., Соляник Н.В. (1975) Субвулканические диабазы в визейских отложениях Каменского района (Восточная вулканическая зона). *Палеовулканизм Урала*. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 173-179.
- Добрецов Н.Л. (1997) Пермо-триасовый магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение суперплюма. *Докл. АН*, **354**(2), 220-223.
- Иванов К.С. (1998) Современная структура Урала – результат постколлизиионного растяжения земной коры. *Геология и геофизика*, **39**(2), 204-210.
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Коротеев В.А., Печеркин М.Ф., Кормильцев В.В., Погромская О.Э., Ронкин Ю.Л., Ерохин Ю.В. (2003) Строение и природа области сочленения Урала и Западной Сибири. *Докл. АН*, **393**(5), 647-651.
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Ронкин Ю.Л., Ерохин Ю.В. (2005) Геохронологические исследования Западно-

- Сибирского мегабассейна; итоги 50 лет изучения. *Литосфера*, (3), 117-135.
- Коротеев В.А., Дианова В.А., Кабанова Л.Я. (1979) Среднепалеозойский вулканизм Восточной зоны Урала. М.: Наука, 130 с.
- Сараев С.В., Батурина Т.П., Травин А.В. (2011) Петрология, седиментология, геохимия и абсолютный возраст осадочно-вулканогенных отложений триаса на юго-западе Западно-Сибирской синеклизы (Курганская область). *Геология и геофизика*, **52**(8), 1107-1128.
- Смирнов В.Н., Ферштатер Г.Б., Иванов К.С. (2003) Схема тектоно-магматического районирования территории восточного склона Среднего Урала. *Литосфера*, (2), 45-56.
- Ivanov K.S., Puchkov V.N., Fedorov Yu.N., Erokhin Yu.V., Pogromskaya O.E. (2013) Tectonics of the Urals and adjacent part of the West-Siberian platform basement: main features of geology and development. *J. Asian Earth Sci. Geol. Evol. Asia*, **72**, 12-24.
- Ludwig K.R. (1991) PBDAT – a computer program for processing Pb-U-Th isotope data. Version 1.22. *Open-file report 88-542. US Geol. Surv.*, 38 p.
- Reichow M.K., Saunders A.D., Pringle M.S., Al'Mukhamedov A.I., Medvedev A., Allen M.B., Andreichev V.L., Buslov M.M., Fedoseev G.S., Safonova J.Yu., Davis C.E., Fitton J.G., Inger S., Mitchell C., Puchkov V.N., Scott R.A. (2009) The timing and extent of the eruption of the Siberian traps large igneous province: implications for the end-permian environmental crisis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **277**(1-2), 9-20.
- Stacey J.S., Kramers J.D. (1975) Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **26**(2), 207-221.
- Steiger R.H., Jager E. (1977) Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**(3), 359-362.
- Sun S.S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, **42**, 313-345.

REFERENCES

- Dianova N.V., Olerskii V.P., Solyanik V.N., Solyanik N.V. (1975) Subvolcanic diabase in Visean sediments of Kamenskyi region (Eastern volcanic zone). *Paleovulkanizm of the Urals. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR*, 80-81. (In Russian)
- Dobretsov N.L. (1997) Permo-Triassic magmatism and sedimentation in Eurasia as a result of a superplum. *Dokl. Akad. Nauk*, **354**(2), 220-223. (In Russian)
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Ural'skaya. L. O-41 – Ekaterinburg. Ob'yasnitel'naya zapiska [The state geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Series Uralic. L. O-41 – Ekaterinburg. Explanatory note]. (2011) St.Petersburg, VSEGEI Cartographic Factory, 492 p. (In Russian)
- Ivanov K.S. (1998) Contemporary structure of the Urals – the result of postcollision stretching. *Geol. Geofiz.*, **39**(2),

- 204-210. (In Russian)
- Ivanov K.S., Fedorov Yu.N., Koroteev V.A., Pecherkin M.F., Kormil'tsev V.V., Pogromskaya O.E., Ronkin Yu.L., Erokhin Yu.V. (2003) The structure and nature of the junction area of the Urals and Western Siberia. *Dokl. Akad. Nauk*, **393**(5), 647-651. (In Russian)
- Ivanov K.S., Fedorov Yu.N., Ronkin Yu.L., Erokhin Yu.V. (2005) Geochronological studies of the West Siberian megabasin; the results of 50 years of study. *Litosfera*, (3), 117-135. (In Russian)
- Ivanov K.S., Puchkov V.N., Fedorov Yu.N., Erokhin Yu.V., Pogromskaya O.E. (2013) Tectonics of the Urals and adjacent part of the West-Siberian platform basement: main features of geology and development. *J. Asian Earth Sci. Geol. Evol. Asia*, **72**, 12-24.
- Koroteev V.A., Dianova T.V., Kabanova L.Ya. (1979) *Srednepaleozoiskii vulkanizm Vostochnoi zony Urala* [Middle Paleozoic volcanism of the Middle zone of the Urals]. Moscow, Nauka Publ., 130 p. (In Russian)
- Ludwig K.R. (1991) PBDAT – a computer program for processing Pb-U-Th isotope data. Version 1.22. *Open-file report 88-542. US Geol. Surv.*, 38 p.
- Reichow M.K., Saunders A.D., Pringle M.S., Al'Mukhamedov A.I., Medvedev A., Allen M.B., Andreichev V.L., Buslov M.M., Fedoseev G.S., Safonova J.Yu., Davis C.E., Fitton J.G., Inger S., Mitchell C., Puchkov V.N., Scott R.A. (2009) The timing and extent of the eruption of the Siberian traps large igneous province: implications for the end-permian environmental crisis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **277**(1-2), 9-20.
- Saraev S.V., Baturina T.P., Travin A.V. (2011) Petrology, sedimentology, geochemistry, and absolute age of Triassic volcanosedimentary rocks from the southwest of the West Siberian geosyncline (Kurgan Region). *Russ. Geol. Geophys.*, **53**(8), 871-887.
- Smirnov V.N., Fershtater G.B., Ivanov K.S. (2003) Scheme of tectono-magmatic zoning of the Middle Urals. *Litosfera*, (2), 45-56. (In Russian)
- Stacey J.S., Kramers J.D. (1975) Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **26**(2), 207-221.
- Steiger R.H., Jager E. (1977) Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**(3), 359-362.
- Sun S.S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, **42**, 313-345.