

УДК 550.93:551.2.03

ВРЕМЯ ЗАДУГОВОГО СПРЕДИНГА УРАЛЬСКОЙ ПАЛЕООСТРОВНОЙ ДУГИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ Sm–Nd- и U–Pb-ДАТИРОВАНИЯ ДОЛЕРИТОВ И ИЗУЧЕНИЯ СОСТАВА ВКЛЮЧЕНИЙ В ЦИРКОНЕ)

К. С. Иванов*, С. В. Берзин**, Ю. В. Ерохин,
Ю. Л. Ронкин, В. В. Хиллер

Представлено академиком РАН В.А. Коротеевым 21.07.2016 г.

Поступило 22.08.2016 г.

Получены данные о силурийском Sm–Nd-возрасте (426 ± 34 млн лет) задугово-спрединговых долеритов комплекса параллельных даек горы Азов на Среднем Урале. Он совпадает с возрастом цирконов ($428,5 \pm 3,7$ млн лет) из долеритов Восточно-Уральской мегазоны, что свидетельствует о региональном характере процессов тылового растяжения. Изучение онтогении и состава включений метаморфогенных минералов в средне-верхнедевонских цирконах из даек горы Азов показало, что формирование цирконов происходило в ходе регионального метаморфизма долеритов и вмещающих их базальтов. Этот метаморфизм совпадает с временем начала коллизии в позднем девоне, причём проявились коллизионные процессы практически по всей ширине региона.

Ключевые слова: Урал, долеритовые дайки, Sm–Nd- и U–Pb-датирование, включения в цирконах, силур, девон.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524843340-343>

Весьма представительный комплекс параллельных долеритовых даек горы Азов долгое время привлекает к себе внимание исследователей. Здесь впервые для Урала был описан комплекс параллельных даек как результат процессов растяжения земной коры океанического типа [1–3]. Позднее на основании геохимических данных было показано, что долериты параллельных даек горы Азов сформировались не в срединно-океанических хребтах, а в зонах задугового растяжения [4, 5]. При исследованиях даек горы Азов всегда возникал вопрос их возраста, который фиксировал бы время прохождения задугового спрединга для палеоуральской островной дуги. Изначально в отсутствие прямых данных возраст даек принимали как среднеордовикско-раннесилурийский по аналогии с другими проявлениями толеитового базальтового вулканизма на Урале [6, 7]. В 2012 г. нами были получены данные о средне-верхнедевонском U–Pb-SHRIMP-II-возрасте цирконов из трёх проб долеритов параллельных даек горы Азов [8]. Таким образом, данный комплекс параллельных даек представлялся моложе всех остальных субокеанических и островодужных комплексов Тагильской зоны. И хотя это в какой-то степени противоречило данным по региональной геологии

[4–7, 9], но представлялось возможным, поскольку зоны задугового спрединга вполне характерны для зрелых островных дуг.

Комплекс параллельных даек, прорывающий базальты подушечных лав, слагает тектонический блок в восточном обрамлении Ревдинского массива Платиноносного пояса Урала [2]. На вершине горы Азов и в карьере в 2,5 км на север от неё параллельные дайки имеют северо-восточное простирание и крутое падение, их мощность до 0,5 до 2–3 м. Дайки образуют рои и структуры типа “дайка в дайке”. В пакетах параллельных даек встречены единичные кислые дайки андезидацитового и дацитового составов.

Долериты параллельных даек и вмещающие базальты представлены низкокалийевыми толеитовыми базальтами—андезибазальтами нормальной щёлочности с невысокими содержаниями TiO_2 (0,5–1,0%). В долеритах и вмещающих базальтах наблюдается дефицит Rb, Th, Nb, Ta, Ti, Zr и обогащение Sr, K, что в совокупности с другими геохимическими данными и указывает на то, что формирование этих пород происходило в зонах задугового спрединга [8, 10]. Долериты и вмещающие базальты одинаково метаморфизованы в условиях низов амфиболитовой и зеленосланцевой фаций метаморфизма [5, 10]. Вероятнее всего, метаморфизм происходил в один этап. По крайней мере не установлены признаки прохождения двух этапов метаморфизма.

Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург

*E-mail: ivanovks@igg.uran.ru

Определение концентраций и изотопного состава Sm, Nd осуществляли масс-спектрометрическим методом изотопного разбавления с помощью мультиколлекторного масс-спектрометра Finnigan MAT-262, методика в [11]. Sm–Nd-возраст был определён для порфиrowого долерита из параллельных даек на вершине горы Азов (56°28'25" с.ш., 60°05'04" в.д.) (табл. 1, рис. 1). По трём точкам была получена изохрона с возрастом 426 ± 34 (95%-й уровень значимости) млн лет, что соответствует лудлоу-скому веку силура, а интервал погрешности охватывает период от границы среднего—верхнего ордовика до границы нижнего—среднего девона [12]. Это заставило провести доизучение цирконов из комплекса параллельных даек и выполнить микрозондовое исследование минералов-узников в цирконах (на микроанализаторе CAMECA SX 100 в ИГГ УрО), возраст которых был ранее определён U–Pb–SHRIMP-II как средний—поздний девон (382–387 млн лет) [8].

В цирконе 2.1 из пробы 107/1 включение хлорита в 25 мкм имеет форму сплюсненной капли, заострённое окончание которой обращено к центру зерна (рис. 2а), локализуясь в вершинной части кристалла,

Таблица 1. Sm–Nd-данные для долерита из параллельных даек горы Азов

Параметр	Порода	Плаггиоклаз	Клинопироксен
Sm, г/г	3,11	1,22	10,8
Nd, г/г	11,0	4,60	30,0
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0,1712	0,1598	0,2176
$\pm 2\sigma$	0,0009	0,0008	0,0011
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0,512903	0,512881	0,513038
$\pm 2\sigma$	0,000009	0,000011	0,000009

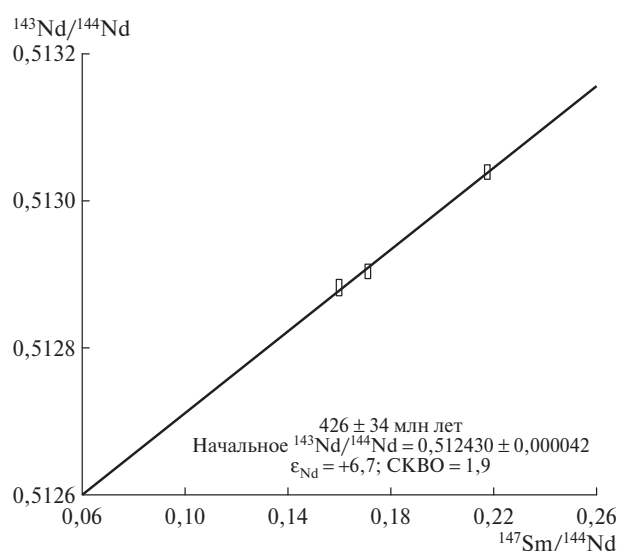


Рис. 1. Эволюционная Sm–Nd-диаграмма для долерита параллельных даек горы Азов. Размеры фигуративных прямоугольников соответствуют $\pm 2\sigma$.

на стыке секторов роста граней дипирамиды. Судя по всему, включение сингенетическое, возникшее в результате кристаллизации на поверхности грани дипирамиды циркона, совместного роста двух минералов на протяжении некоторого времени и последующего обрастания и “поглощения” новообразованного минерала цирконом. Образование данного включения — частный случай геометрического отбора, а его границы имеют индукционную природу [13]. По данным микрозондового анализа включение — магнезиальный шамозит с 28% минала клинохлора и 8% минала донбассита (табл. 2, ан. 1).

В зерне 7.1 из обр. 106/1 включение хлорита имеет аналогичную морфологию (рис. 2б), с той лишь разницей, что находится в секторе роста грани призмы и также является сингенетическим. Включение определяется как железистый донбассит с 42% минала шамозита и 2% минала клинохлора (табл. 2, ан. 2).

Кристалл 3.1 из пробы 106/1 в отличие от двух предыдущих зёрен представлен обломком ранее регенерированного зерна циркона (рис. 2в). В нём присутствует включение плаггиоклаза, имеющее на срезе изометричную форму, близкую к треугольнику со скруглёнными углами. Судя по идиоморфизму зерно — скорее всего кристалл, захваченный в процессе роста циркона. По данным микрозондового анализа это альбит с 7% минала анортита (табл. 2, ан. 3).

Наличие сингенетичных и захваченных включений метаморфогенных минералов — хлорита (низкотемпературных железистых разновидностей) и альбита в цирконах из проб 106/1, 107/1 заставляет пересмотреть сделанные ранее выводы [8]. Включения метаморфогенных минералов в верхне-среднедевонских цирконах с высокой долей вероятности указывают на то, что их формирование фиксирует возраст регионального зеленосланцевого метаморфизма, совпадающий на Среднем Урале со временем начала коллизии в позднем девоне (375–372 млн лет) [4]. При этом проявились коллизионные процессы (а в глубинных комплексах — и связанный с ними метаморфизм [11, 14]) практически по всей ширине региона от слоистых известняков на западе [4] в Западно-Уральской палеошельфовой мегазоне до гранулитов салдинского комплекса в Восточно-Уральской мегазоне, возраст которых 372 ± 22 млн лет (Sm–Nd-метод [14]).

Sm–Nd-возраст, по всей видимости, и указывает на время магматического внедрения долеритовых даек горы Азов. Ранее близкий U–Pb–SHRIMP-II-возраст $428,5 \pm 3,7$ млн лет был определён для скрина габбро из пакета задугово-спрединговых параллель-

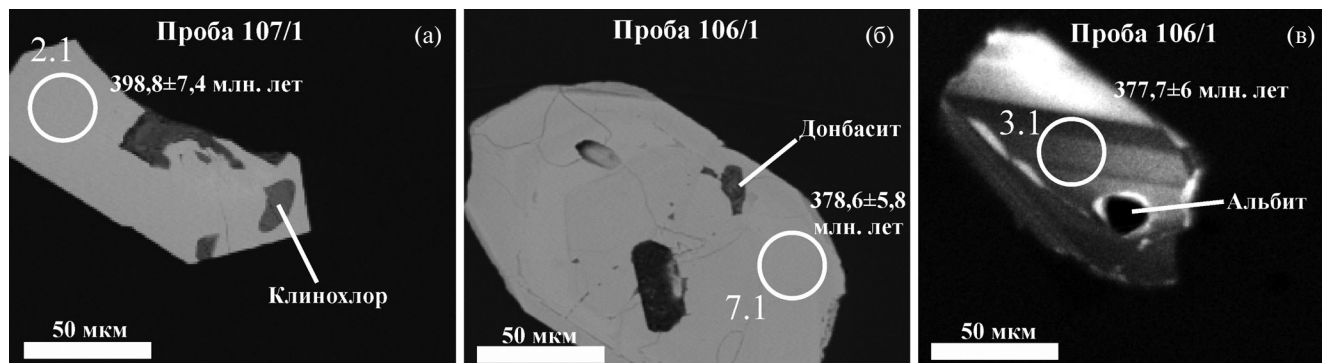


Рис. 2. Включения метаморфогенных минералов в продатированных верхне-среднедевонских цирконах из долеритов параллельных даек горы Азов (подробнее о цирконах и их возрасте [8]). (а) — проба 107/1, зерно 2.1; (б) — проба 106/1, зерно 7.1; (в) — проба 106/1, зерно 3.1. а, б — изображения в отражённых электронах (BSE), в — катодолуминесцентное изображение (CL).

Таблица 2. Химический состав минеральных включений в кристаллах циркона из диабазов горы Азов

№ анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
1	30,02	0,97	12,58	0,02	27,68	0,56	7,78	0,73	0,27	1,98	82,59
2	33,13	0,86	25,94	0,06	20,55	0,08	0,42	0,08	0,00	0,33	81,45
3	66,82	0,03	21,29	0,00	0,00	0,02	0,00	1,41	10,77	0,04	100,39
Кристаллохимические формулы											
1	$(\text{Fe}_{2,73}\text{Mg}_{1,37}\text{Al}_{0,39}\text{K}_{0,30}\text{Ca}_{0,09}\text{Mn}_{0,06}\text{Na}_{0,06})_5(\text{Al}_{0,91}\text{Ti}_{0,09})_1[\text{Al}_{0,45}\text{Si}_{3,55}\text{O}_{10}](\text{OH})_8$										
2	$(\text{Al}_{2,77}\text{Fe}_{2,08}\text{Mg}_{0,08}\text{K}_{0,05}\text{Ca}_{0,01}\text{Mn}_{0,01})_5(\text{Al}_{0,91}\text{Ti}_{0,08}\text{Cr}_{0,01})_1[\text{Si}_{4,00}\text{O}_{10}](\text{OH})_8$										
3	$(\text{Na}_{0,91}\text{Ca}_{0,07})_{0,98}[\text{Al}_{1,10}\text{Si}_{2,92}\text{O}_8]$										

Примечание. Ан. 1 — хлорит (Mg-шамозит), ан. 2 — хлорит (Fe-донбассит), ан. 3 — плагиоклаз (альбит).

ных долеритовых даек в Восточно-Уральской зоне [15]. Таким образом, задугово-спрединговые процессы на Среднем Урале происходили именно в силуре. Это позволяет уточнить стратиграфические схемы [6], геологические карты и представления о геологической истории Урала — признанного мирового эталона внутриконтинентальных складчатых поясов с полным геодинамическим циклом развития.

Авторы признательны И.В. Семенову за помощь в отборе образцов для Sm—Nd-датирования.

Исследования проводятся при поддержке проекта УрО РАН 18–5–5–32 “Реконструкция условий формирования габбро-ультрабазитовых...” (номер госрегистрации АААА–А18–118052590033–3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иванов С.Н., Кориневский В.Г., Белянина Г.П. // ДАН. 1973. Т. 211. № 4. С. 939–942.
- Семенов И.В. Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 362 с.
- Коротеев В.А., Семенов И.В. // Литосфера. 2008. № 5. С. 54–83.
- Иванов К.С., Смирнов В.Н., Ерохин Ю.В. Тектоника и магматизм коллизионной стадии (на примере Среднего Урала). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. 133 с.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Смирнов В.Н., Слободчиков Е.А. Рифтогенез на Среднем Урале. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. 91 с.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН/Уралгеолком, 1993. 152 с.
- Бороздина Г.Н., Иванов К.С., Богоявленская В.М. Стратиграфия вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений Салатимской и Тагильской зон Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 152 с.
- Иванов К.С., Берзин С.В., Ерохин Ю.В. // ДАН. 2012. Т. 443. № 1. С. 78–83.
- Иванов К.С. Основные черты геологической истории (1,6–0,2 млрд лет) и строения Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 252 с.
- Берзин С.В. // Литосфера. 2016. № 1. С. 88–106.
- Echtler H.P., Ivanov K.S., Ronkin Y.L., Karsten L.A., Noskov A.G. // Tectonophysics. 1997. V. 276. P. 229–251.
- International Chronostratigraphic Chart. V. 2016/04. <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-04.pdf>
- Попов В.А. Практическая генетическая минералогия. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 167 с.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Свяжина И.А., Рыбалка А.В., Лепихина О.П. // ДАН. 2008. Т. 422. № 3. С. 365–370.
- Смирнов В.Н., Иванов К.С. // ДАН. 2010. Т. 430. № 2. С. 218–221.

THE AGE OF BACK-ARC SPREADING OF THE URAL PALEOISLAND ARC (BY THE RESULTS OF SM-ND AND U-PB DATING OF DOLERITES AND STUDYING THE COMPOSITION OF INCLUSIONS IN ZIRCON)

K. S. Ivanov, S. V. Berzin, Yu. V. Erokhin, Yu. L. Ronkin, V. V. Khiller

Presented by Academician of the RAS V. A. Koroteyev July 21, 2016

Received August 22, 2016

The data on the Silurian Sm–Nd age (426 ± 34 Ma) behind the arc-spreading dolerites of the sheeted dikes of Mount Azov in the Middle Urals was obtained. This age coincides with the age of zircons ($428,5 \pm 3,7$ Ma) from the dolerites of the East-Ural megazone, which indicates the regional nature of the back-arc spreading processes. A study of the crystal ontogeny and composition of inclusions of metamorphogenic minerals in Mid-Upper Devonian zircons from the dikes of the city of Azov showed that the formation of zircons took place in the course of regional metamorphism of dolerites and enclosing basalts. This metamorphism coincides with the time of the onset of the collision in the late Devonian, and conflict processes manifested themselves over practically the entire width of the region.

Keywords: Ural, Dolerite Dikes, Sm–Nd and U–Pb Dating, Inclusions in Zircons, Silurian, Devonian.