

ЭКЛОГИТЫ ЧАРСКОЙ ЗОНЫ, СВ КАЗАХСТАН: НОВЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

© 2016 г. Н. И. Волкова*, **, В. А. Симонов*, ***, А. В. Травин*, **, ***,
С. И. Ступаков*, Д. С. Юдин *, ***,

*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
630090 Новосибирск-90, просп. акад. Коптюга, 3

**Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050 Томск, просп. Ленина, 36

***Новосибирский государственный университет, Геолого-геофизический факультет
630090 Новосибирск-90, ул. Пирогова, 2

e-mail: nvolkova@igm.nsc.ru

Поступила в редакцию 27.08.2014 г.

Принята к печати 24.11.2014 г.

Ключевые слова: *эклогиты, Чарская зона, геохимия, Ar-Ar изотопный возраст.*

DOI: 10.7868/S0016752515120110

Чарская сдвиговая зона протягивается на сотни километров с северо-запада на юго-восток через весь Восточный Казахстан и является главной структурой, разделяющей образования Сибирского и Казахстанского континентов (Добрецов, 1974; Ермолов и др., 1981; Буслов и др., 2003). В осевой части Чарской зоны располагается Чарский офиолитовый пояс, который представляет собой мегамеланж, включающий расчлененные офиолиты, блоки вулканических, HP/LT метаморфических (образованных при высоких давлениях и низких температурах) и осадочных пород в серпентинитовой матриксе. Возраст осадочных пород, которые относятся к океаническому ложу, гайотам, склонам островных дуг, датируется главным образом поздним девоном — нижним карбоном (Ермолов и др., 1981; Сенников и др., 2003), хотя в глубоководных кремнистых породах обнаружены также ордовикские радиолярии (Ивата и др., 1994). Детальные петролого-геохимические исследования (Симонов и др., 2010; Safonova et al., 2004, 2012) вулканических пород Чарской зоны показали, что они формировались в различных палеогеодинамических обстановках: срединно-океанических хребтов, океанических плато, внутриплитных океанических островов и островных дуг. Расшифровка последовательности геологических событий, приведших к формированию мегамеланжа Чарской зоны, вносит существенный вклад в понимание истории геодинамического развития Восточного Казахстана, Южной Сибири и Северо-Западного Китая.

HP/LT метаморфические породы, встречающиеся в виде экзотических включений в серпен-

тинитовой матриксе (Добрецов, 1974; Ермолов и др., 1981; Волкова и др., 2008), отражают наиболее ранний субдукционный этап развития этого региона. Они представлены гранат-барруазитовыми, барруазитовыми и катофоритовыми амфиболитами, глаукофанитами и метачертами (метаморфизованными кремнистыми осадками) и показывают широкие вариации модального и минерального составов. Ранее нами (Волкова и др., 2008) были опубликованы петролого-геохимические и изотопно-геохронологические данные, полученные при изучении этих пород. Однако, находки эклогитов в Чарской зоне довольно редки (Добрецов, 1974; Хомяков и Ермолов, 1981; Волкова и др., 2008), поскольку при их подъеме они замещаются ретроградными ассоциациями апоэклогитовых амфиболитов вследствие интенсивного взаимодействия с флюидами, циркулирующими в зоне субдукции.

В данной работе приводятся первые сведения о редкоэлементном составе и Ar-Ar изотопном возрасте эклогитов Чарской зоны.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Составы минералов определены на рентгеновском микроанализаторе Jeol JXA-8100 в Институте геологии и минералогии СО РАН (аналитик Е.Н. Нигматулина). Ускоряющее напряжение составляло 20 кВ, ток поглощенных электронов — 40 нА, диаметр зонда 1–3 мкм, время счета 10 с на каждой аналитической линии. Стандартами служили природные и синтетические минералы. Анализы образцов эклогитов

Таблица 1. Представительные анализы минералов из эклогитов Чарской зоны

Компо нент	С-15-08										1423							
	Grt-r	Grt-c	Omp	Omp	Amp	Ms	Ms	Ep	Ep	Grt-c	Grt-r	Omp	Omp	Amp	Amp	Ep	Ep	
SiO ₂	37.57	37.85	55.51	55.17	50.61	50.80	50.36	38.24	38.28	37.60	37.70	55.26	54.81	49.00	47.78	38.29	38.13	
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.05	0.00	0.00	0.15	0.08	0.06	0.10	0.10	0.06	0.18	0.14	
Al ₂ O ₃	20.85	20.87	9.60	9.59	7.82	27.55	27.53	26.17	26.74	21.07	21.13	10.35	10.28	6.00	7.51	27.07	25.40	
Cr ₂ O ₃	0.01	0.07	0.15	0.15	0.08	0.08	0.06	0.14	0.09	0.06	0.05	0.03	0.00	0.05	0.03	0.10	0.06	
FeO*	28.04	27.26	7.71	7.86	14.90	3.59	3.30	8.94	8.20	27.93	25.91	6.76	7.51	17.31	17.93	7.27	9.39	
MnO	1.81	2.13	0.12	0.12	0.29	0.05	0.02	0.19	0.18	0.38	0.34	0.02	0.04	0.13	0.18	0.02	0.13	
MgO	2.77	2.90	6.86	6.83	11.83	3.44	3.39	0.05	0.10	2.85	3.00	6.95	6.61	10.92	9.87	0.09	0.08	
CaO	8.65	8.84	10.91	11.00	7.04	0.00	0.00	23.34	23.33	9.91	11.78	12.78	11.80	9.90	9.71	22.84	23.53	
Na ₂ O	0.08	0.11	7.97	7.83	4.28	0.54	0.59	0.09	0.08	0.06	0.04	7.02	7.54	2.30	2.30	0.09	0.13	
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.43	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.30	0.01	0.00	
Сумма	99.78	100.02	98.83	98.55	96.85	95.54	94.80	97.15	96.99	100.00	100.04	99.24	98.69	95.89	95.67	95.96	96.98	
Si	2.990	3.001	2.003	1.999	7.295	3.399	3.391	3.154	3.140	2.973	2.963	1.994	1.986	7.320	7.179	3.144	3.167	
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.000	0.000	0.009	0.005	0.002	0.003	0.011	0.007	0.011	0.009	
Al	1.956	1.950	0.408	0.410	1.328	2.172	2.184	2.543	2.585	1.963	1.957	0.440	0.439	1.056	1.330	2.619	2.486	
Cr	0.001	0.004	0.004	0.004	0.009	0.004	0.003	0.009	0.006	0.004	0.003	0.001	0.000	0.006	0.004	0.007	0.004	
Fe ³⁺	0.065	0.043	0.138	0.137	0.704	0.000	0.000	0.277	0.253	0.079	0.111	0.058	0.113	0.407	0.442	0.224	0.293	
Fe ²⁺	1.802	1.764	0.095	0.101	1.089	0.201	0.186			1.764	1.589	0.146	0.114	1.752	1.807			
Mn	0.122	0.143	0.004	0.004	0.035	0.027	0.003	0.013	0.012	0.025	0.023	0.001	0.001	0.017	0.022	0.002	0.009	
Mg	0.329	0.343	0.369	0.369	2.540	0.343	0.340	0.006	0.012	0.336	0.351	0.374	0.357	2.430	2.209	0.011	0.010	
Ca	0.738	0.750	0.422	0.427	1.087	0.000	0.000	2.061	2.050	0.839	0.992	0.494	0.458	1.584	1.563	2.008	2.093	
Na	0.000	0.000	0.557	0.550	1.195	0.070	0.077	0.014	0.013	0.000	0.000	0.491	0.529	0.666	0.670	0.015	0.021	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.805	0.816	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.058	0.001	0.000	

* Σ FeO + Fe₂O₃. Концентрации главных элементов приведены в мас.%, а редких элементов — в ррп. Условные обозначения минералов в таблице и тексте — по данным (Kretz, 1983). Расчет Fe³⁺ производился на основе 12 атомов кислорода и 8 катионов для гранатов, 6 атомов кислорода и 4 катионов для пироксенов, 23 атомов кислорода и 13 катионов (за исключением K, Na и Ca) для амфиболов, 11 атомов кислорода и 7 катионов для фенгита, 12.5 O и 8 катионов для эпидитов.

Таблица 2. Химический состав экологитов Чарской зоны

Компонент	Номер образца	
	1423	C-15-08
SiO ₂ , мас. %	48.55	48.65
TiO ₂	1.48	1.02
Al ₂ O ₃	16.66	16.49
Fe ₂ O ₃	14.11	11.04
MnO	0.18	0.18
MgO	4.93	6.31
CaO	8.83	9.58
Na ₂ O	2.37	1.63
K ₂ O	1.99	2.93
P ₂ O ₅	0.09	0.13
П.п.п.	0.82	2.07
Сумма	100.01	100.04
Rb, ppm	43	56
Cs	1.31	0.24
Sr	333	105
Ba	274	182
Th	0.77	0.51
U	0.17	0.14
Nb	10.9	4.9
Ta	0.68	0.37
Zr	86	58
Hf	2.4	1.53
La	6.0	4.0
Ce	14.1	9.4
Pr	2.00	1.38
Nd	9.8	6.8
Sm	2.8	2.1
Eu	1.03	0.84
Gd	3.5	2.8
Tb	0.64	0.49
Dy	4.3	3.3
Ho	0.97	0.70
Er	3.0	2.1
Tm	0.46	0.32
Yb	3.1	2.1
Lu	0.46	0.32
Y	27	19.4

на петрогенные элементы выполнены методом РФА в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск; аналитик — Л.Д. Холодова) по классической схеме, принятой в сертифицированных аналитических лабораториях. Редкие элементы определялись методом ICP-MS на масс-спектрометре высокого разрешения с магнитным сектором ELEMENT фирмы Finnigan MAT (Германия) в ИГМ СО РАН (аналитик

И.В. Николаева). ⁴⁰Ar/³⁹Ar изотопное датирование выделенных мономинеральных фракций фенгитов и амфибола проводилось в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск, аналитики — А.В. Травин и Д.С. Юдин) по методике, детально описанной в работе (Травин и др., 2009). Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре Noble gas 5400 фирмы Микромасс и на многоколлекторном масс-спектрометре Argus фирмы GV-Instruments.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экологиты были обнаружены в центральной части Чарской зоны, примерно в 6 км к С-СЗ от пос. Ортабулак, где они встречаются в виде небольших тел (блоков) размером от первых метров (обр. 1423) до 20 м (обр. С-15-08) в поперечнике. Образец 1423 сложен гранатом (*Alm*55-61, *Grs*26-32, *Prp*10-11, *Sps*1-3), омфацитом (40–46% *Jd*), синезеленой роговой обманкой (*Mg-Hbl*, $N_{\text{B}} = 0.42-0.44$, $Mg\# = 0.55-0.58$), эпидотом с $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Al) = 9-11\%$, фенгитом ($Si = 3.36-3.43$), рутилом и сфеном. Минеральный состав образца С-15-08: гранат (*Alm*59-60, *Grs*16-23, *Prp*11-12, *Sps*4-6, *Adr*1-3) + омфацит (30–41% *Jd*) + барруазит ($N_{\text{B}} = 0.82-0.97$, $Mg\# = 0.70-0.75$) + эпидот ($Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Al) = 14$) + фенгит + сфен. Представительные анализы минералов даны в табл. 1.

На основании составов сосуществующих минералов были проведены термобарометрические расчеты условий формирования исследованных экологитов. Поскольку омфациты в экологитах Чарской зоны характеризуются повышенными содержаниями Fe^{3+} (6–17% эгиринового компонента), оценки температур были получены с использованием гранат-клинопироксенового термометра (Ravna, 2000). Для обр. С-15-08 они составили 570–590°C при давлении $P = 16$ кбар, рассчитанном по гранат-клинопироксен-фенгитовому геобарометру (Waters & Martin, 1993), а для обр. 1453 — 580–620°C при $P = 19$ кбар. При этом минимальные оценки температур отвечают центральным участкам зерен граната, а максимальные — краевым, что указывает на прогрессивную зональность роста кристаллов граната. В то же время расчеты P - T -условий метаморфизма, выполненные с помощью программы THERMOCALC (Holland & Powell, 1998), дают близкие оценки давлений (15.9 ± 0.9 кбар для обр. С-15-08 и 19.1 ± 1.2 кбар для обр. 1423), но более высокие температуры: $590 \pm 23^\circ\text{C}$ (обр. С-15-08) и $658 \pm 32^\circ\text{C}$ (обр. 1453).

Экологиты Чарской зоны отвечают по химическому составу толеитовым базальтам с содержанием $SiO_2 = 48.55-48.65$ мас. % (табл. 2). Спектры распределения редкоземельных элементов для экологитов Чарской зоны имеют плоскую горизонтальную форму (рис. 1), отношение $(La/Yb)_n$

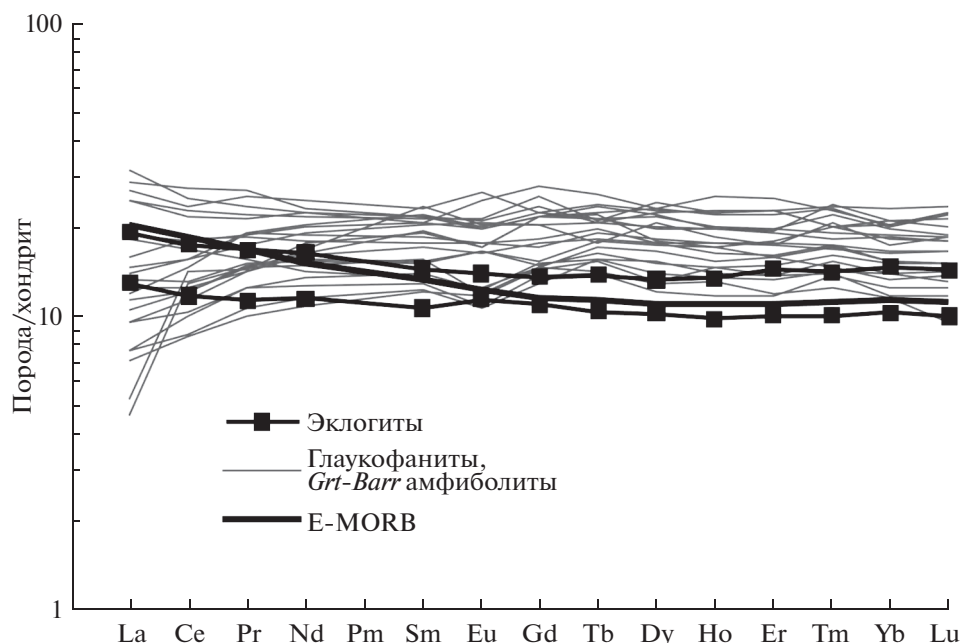


Рис. 1. Нормированные по хондриту (Boynnton, 1984) спектры РЗЭ эклогитов Чарской зоны. Для сравнения приведены спектры глаукофанитов и гранат-барруазитовых амфиболитов Чарской зоны (Волкова и др., 2008) и E-MORB (Sun & McDonough, 1989).

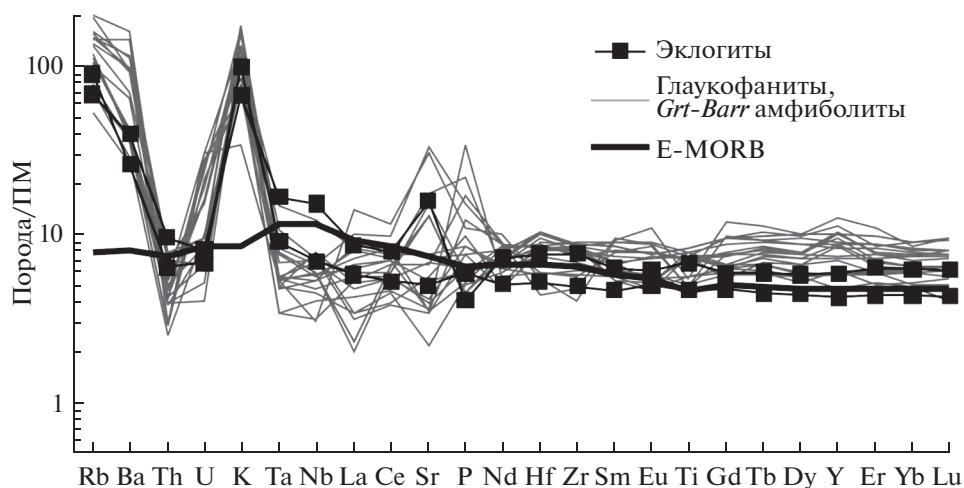


Рис. 2. Нормированные к примитивной мантии мультиэлементные диаграммы для эклогитов Чарской зоны. Составы примитивной мантии и E-MORB взяты из работы (Sun & McDonough, 1989); составы глаукофанитов и гранат-барруазитовых амфиболитов — по данным Волковой и др. (2008).

составляет 1.26 и 1.31. Eu минимум фактически отсутствует ($Eu/Eu^* = 1.00-1.05$), а содержания РЗЭ составляют 10–19 хондритовых норм. Такие спектры характерны для некоторых типов E-MORB базальтов. В целом, по характеру распределения РЗЭ эклогиты сопоставимы с другими HP/LT метабазитами Чарского пояса (глаукофанитами, гранат-барруазитовыми амфиболитами) (Волкова и др., 2008), но отличаются слабой дифференциацией

LREE: $(La/Sm)_N = 1.21, 1.34$, тогда как $(Gd/Yb)_N = 0.92$ и 1.07, и пониженными содержаниями HREE.

Мультиэлементные спектры большинства высокobarических метабазитов Чарской зоны (рис. 2) также напоминают N-MORB и E-MORB в отношении высокочargedных некогерентных элементов, но отличаются повышенными содержаниями K, Rb, Cs и Ba, которые считаются подвижными при

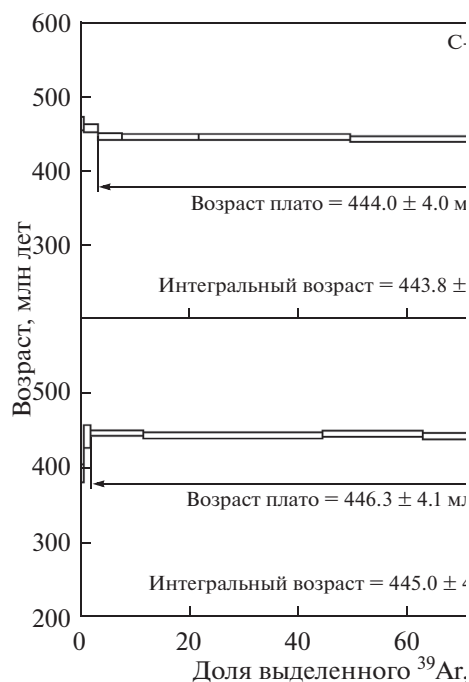


Рис. 3. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования фенгитов из эклогитов Чарской зоны.

субдукционном метаморфизме и/или подводном изменении базальтов (Bebout, 2007). По сравнению с другими метабазитами Чарского пояса (Волкова и др., 2008), эклогиты характеризуются пониженными содержаниями некоторых LILE (K, Rb, Cs, Ba) и HFSE элементов. По соотношению Th/Nb и Ce/Nb эклогиты Чарской зоны наиболее близки к толеитовым базальтам океанических плато.

С целью определения возраста эклогитов Чарской зоны проведены $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопные исследования фенгитов и барруазита (табл. 3). Графики ступенчатого нагрева фенгитов (рис. 3) показывают хорошие плато с возрастом 444.0 ± 4.0 (обр. C-15-08) и 446.3 ± 4.1 млн лет (обр. 1423). Барруазит из обр. C-15-08 (рис. 4) также демонстрирует плато с возрастом 446.8 ± 4.1 млн лет.

Учитывая, что температура закрытия K/Ar изотопной системы в фенгите около 370°C , полученные оценки возраста должны соответствовать завершающему этапу высокобарического метаморфизма. Совпадение полученных датировок позволяет исключить влияние захваченного радиогенного аргона и возможность искажения изотопных систем при поздних наложенных воздействиях.

Полученные датировки указывают на позднеордовикский возраст подъема к поверхности эклогитов и хорошо согласуются с $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возрастными (450–449 млн лет), полученными ранее по



Рис. 4. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования барруазита из эклогита Чарской зоны.

фенгиту и барруазиту из гранат-барруазитовых пород (Волкова и др., 2008), и наиболее древними из K-Ar определений возраста (444–429 млн лет), полученных по мусковиту из высокобарических пород Чарской зоны (Буслов и др., 2003). Следует отметить, что опубликованные недавно (Ермолов, 2013) U-Pb изотопные даты (466–456 млн лет; по циркону из метачерта Чарской зоны), по-видимому, могут отражать пик субдукционного метаморфизма.

Полученные оценки возраста метаморфических пород Чарской зоны согласуются со временем формирования многих высокобарических комплексов Центрально-Азиатского подвижного пояса (Волкова и др., 2011). В это время на огромной территории Центральной Азии имели место интенсивные аккреционно-коллизийные события (Добрецов и Буслов, 2007), которые привели к амальгамации террейнов различного типа и подъема к поверхности высокобарических/низкотемпературных пород.

ВЫВОДЫ

Геохимические характеристики эклогитов Чарской зоны позволяют предполагать, что их протолитами являлись океанические платобазальты типа E-MORB. Установлено, что эклогиты Чарской зоны формировались при $T = 570\text{--}650^\circ\text{C}$ и $P = 16\text{--}19$ кбар и при их подъеме к поверхности замещались амфиболитами и гранат-барруазитовыми амфиболитами.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопное датирование показало, что возраст подъема к поверхности эклогитов составляет около 445 млн лет и совпадает в пределах точности анализа со временем эксгумации других высокобарических метабазитов Чарской зоны,

Таблица 3. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования методом ступенчатого прогрева фенгитов и барруазита из эколитов Чарской зоны

$T, ^\circ\text{C}$	$t, \text{мин}$	$^{40}\text{Ar}, 10^{-9} \text{ нсм}^3$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	Ca/K	$\Sigma^{39}\text{Ar}, \%$	Возраст, млн лет	$\pm 1\sigma$
1423 фенгит (38.61 мг). $J = 0.003883 \pm 0.000040$; интегральный возраст = 445.0 ± 4.1 млн лет														
500	10	3.7	91.813	1.683	0.043	0.0251	0.017	0.104	0.104	0.0181	0.06	0.1	384.1	31.0
600	10	9.4	80.223	0.697	0.024	0.0014	0.041	0.032	0.059	0.0068	0.15	0.6	392.9	12.2
700	10	27.2	79.553	0.570	0.002	0.0045	0.015	0.041	0.027	0.0091	0.06	1.8	442.0	15.6
800	10	210.4	77.481	0.071	0.020	0.0004	0.012	0.003	0.017	0.0001	0.04	11.5	447.2	4.1
875	10	689.7	74.685	0.174	0.018	0.0001	0.004	0.001	0.010	0.0002	0.01	44.4	444.1	4.2
925	10	387.9	74.825	0.061	0.020	0.0001	0.006	0.0003	0.009	0.0004	0.02	62.9	446.4	4.1
975	10	416.1	73.562	0.056	0.020	0.0003	0.010	0.001	0.006	0.0001	0.04	83.1	443.1	4.1
1000	10	185.6	73.614	0.065	0.018	0.0007	0.001	0.004	0.003	0.0008	0.002	92.1	449.1	4.3
1050	10	121.8	73.392	0.045	0.016	0.0011	0.026	0.004	0.002	0.0008	0.09	98.0	448.8	4.3
1130	7	40.6	73.182	0.091	0.019	0.0009	0.354	0.008	0.006	0.0010	1.27	100.0	441.7	4.4
C-15-08 фенгит (34.35 мг). $J = 0.003865 \pm 0.000039$; интегральный возраст = 443.8 ± 4.0 млн лет														
500	10	3.0	110.140	3.194	0.0955	0.0344	0.5409	0.2986	0.1280	0.0325	1.95	0.1	444.7	53.4
600	10	8.8	90.077	0.304	0.0269	0.0077	0.1118	0.0320	0.0487	0.0050	0.40	0.4	463.0	9.0
700	10	60.4	76.990	0.126	0.0148	0.0020	0.0155	0.0012	0.0088	0.0020	0.06	3.1	456.0	5.2
790	10	99.4	77.967	0.143	0.0191	0.0007	0.0126	0.0062	0.0190	0.0011	0.05	7.5	444.9	4.4
870	10	301.1	73.082	0.100	0.0180	0.0003	0.0061	0.0016	0.0025	0.0001	0.02	21.6	444.8	4.0
930	10	593.4	73.308	0.039	0.0181	0.0002	0.0072	0.0005	0.0034	0.0001	0.03	49.4	444.6	4.0
980	10	770.0	72.885	0.046	0.0176	0.0002	0.0305	0.0010	0.0036	0.0002	0.11	85.7	442.0	4.0
1030	10	272.5	73.131	0.052	0.0177	0.0006	0.0356	0.0011	0.0032	0.0005	0.13	98.5	443.9	4.1
1130	7	33.2	73.603	0.243	0.0231	0.0007	0.2843	0.0039	0.0093	0.0019	1.02	100.0	436.6	5.1
C-15-08 барруазит (14 мг). $J = 0.003846 \pm 0.000039$; интегральный возраст = 439.4 ± 4.0 млн лет														
500	10	66.0	633.301	16.063	0.488	0.014	3.558	0.414	1.895	0.054	12.81	0.9	448.1	42.0
700	10	107.2	128.847	0.273	0.055	0.003	0.170	0.041	0.188	0.002	0.61	8.1	448.6	5.3
800	10	227.5	88.006	0.053	0.026	0.001	0.162	0.025	0.053	0.001	0.58	30.3	442.6	4.1
850	10	266.4	87.889	0.074	0.028	0.001	0.098	0.014	0.051	0.001	0.35	56.5	445.9	4.2
900	10	204.3	87.009	0.070	0.035	0.001	0.851	0.017	0.044	0.001	3.06	76.7	451.2	4.3
950	10	365.4	183.995	0.194	0.080	0.001	0.787	0.019	0.390	0.001	2.83	93.8	423.3	4.2
1000	10	299.5	416.284	1.121	0.263	0.002	2.898	0.059	1.194	0.004	10.43	100.0	394.2	5.8

что говорит об их практически одновременном подъеме из зоны субдукции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 12-05-00021, № 14-05-00712), СО РАН (интеграционный проект ИП-77), гранта Президента России МК-3240.2014.5 и Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках программы приоритетного развития Томского государственного университета (проект ВИУ, СИ 4, мероприятие 4.1.2, 8.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буслов М.М., Ватанабе Т., Смирнова Л.В., Фуджигара И., Ивата К., де Граве И., Семаков Н.Н., Травин А.В., Кириянова А.П., Кох Д.К. (2003) Роль сдвигов в позднепалеозойско-раннемезозойской тектонике и геодинамике Алтае-Саянской и Восточно-Казахстанской складчатых областей. *Геология и геофизика* **44**(1-2), 49-75.
- Волкова Н.И., Тарасова Е.Н., Полянский Н.В., Владимиров А.Г., Хомяков В.Д. (2008) Высокобарические породы в серпентинитовом меланже Чарской зоны (Восточный Казахстан). *Геохимия* **46**(4), 422-437.
- Волкова Н.И., Травин А.В., Юдин Д.С. (2011) Ордовикские глаукофановые сланцы как отражение аккреционно-коллизийных событий в Центрально-Азиатском складчатом поясе. *Геология и геофизика* **52**(1), 91-106.
- Добрецов Н.Л. (1974) Глаукофансланцевые и эклогит-глаукофансланцевые комплексы СССР. Новосибирск: Наука, 430 с.
- Добрецов Н.Л., Буслов М.М. (2007) Позднекембрийско-ордовикская тектоника и геодинамика Центральной Азии. *Геология и геофизика* **48**(1), 93-108.
- Ермолов П.В. (2013) Актуальные проблемы изотопной геологии и металлогении Казахстана. Караганда: Издат.-полиграф. центр Казахстанско-Российского ун-та, 206 с.
- Ермолов П.В., Добрецов Н.Л., Полянский Н.В., Клевина Н.Л., Хомяков В.Д., Кузубный В.С., Ревякин П.С., Борцов В.Д. (1981) Офиолиты Чарской зоны // *Офиолиты*. Алма-Ата: Наука КазССР, 103-178.
- Ивата К., Ватанабе Т., Акияма М., Добрецов Н.Л., Беляев С.Ю. (1994) Палеозойские микрофоссилии Чарского пояса, Восточный Казахстан. *Геология и геофизика* **35**(7-8), 145-151.
- Сенников Н.В., Ивата К., Ермиков В.Д., Обут О.Т., Хлебникова Т.В. (2003) Океанические обстановки седиментации и фаунистические сообщества в палеозое южного обрамления Западно-Сибирской плиты. *Геология и геофизика* **44**(1-2), 156-171.
- Симонов В.А., Сафонова И.Ю., Ковязин С.В. (2010) Петрогенезис островодужных комплексов Чарской зоны, Восточный Казахстан. *Петрология* **18**(6), 59-72.
- Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б. (2009) Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье). *Геохимия* **47**(11), 1181-1199.
- Хомяков В.Д., Ермолов П.В. (1981) Метаморфические породы Чарского офиолитового пояса (минералогия и условия образования). *Геология и геофизика* № 11, 83-93.
- Bebout G.E. (2007) Metamorphic chemical geodynamics of subduction zones. *Earth Planet. Sci. Lett.* **260**, 373-393.
- Boynton W.V. (1984) Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: *Rare Earth Element Geochemistry* (Ed. P. Henderson). Amsterdam: Elsevier, 63-114.
- Holland T.J.B., Powell R. (1998) An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology* **16**, 309-343.
- Kretz R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* **68**, 277-279.
- Ravna E.J.K. (2000) The garnet-clinopyroxene Fe²⁺-Mg geothermometer: An updated calibration. *Journal of Metamorphic Geology* **18**, 211-219.
- Safonova I.Yu., Buslov M.M., Iwata K., Kokh D.A. (2004) Fragments of Vendian-Early Carboniferous oceanic crust of the Paleo-Asian Ocean in foldbelts of the Altai-Sayan Region of Central Asia: geochemistry, biostratigraphy and structural setting. *Gondwana Research* **7**(3), 771-790.
- Safonova I.Y., Simonov V.A., Kurganskaya E.V., Obut O.T., Romer R.L., Seltmann R. (2012) Late Paleozoic oceanic basalts hosted by the Char suture-shear zone, East Kazakhstan: Geological position, geochemistry, petrogenesis and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences* **49**, 20-39.
- Sun S.-S. and McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in Ocean Basins* (Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry). Geol. Soc. Spec. Publ., London, 313-345.
- Waters D.J., Martin H.N. (1993) Geobarometry in phengite-bearing eclogites. *Terra Abstracts* **5**, 410-411.