

УДК 552.08:551.733.1(574.3)

МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ БИМОДАЛЬНЫЙ МАГМАТИЗМ УЛУТАУСКОГО ТЕРРЕЙНА ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА

© 2023 г. А. А. Третьяков^{1,*}, академик РАН К. Е. Дегтярев¹, Н. А. Каныгина¹, Б. В. Федоров²

Поступило 03.08.2022 г.

После доработки 13.09.2022 г.

Принято к публикации 13.09.2022 г.

В Южной части Улутауского террейна (Центральный Казахстан) изучен комплекс вулканогенных пород базальт-риолитового состава жийдинской серии. На основании U–Pb (SIMS)-геохронологического изучения акцессорных цирконов впервые была получена оценка возраста риолитов — 1338 ± 5 млн лет, что соответствует первой половине эктазийского периода мезопротерозоя. Особенности состава эффузивов основного и кислого состава свидетельствуют об их формировании в обстановке континентального рифтогенеза, вызванного деятельностью мантийного плюма.

Ключевые слова: базальты, риолиты, Центральный Казахстан, мезопротерозой, рифтогенез, Нуна (Колумбия)

DOI: 10.31857/S2686739722601570, **EDN:** GANHPZ

Характерной особенностью западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса является присутствие большого количества террейнов с докембрийской континентальной корой, отделенных друг от друга сложно построенными нижнепалеозойскими зонами, в строении которых участвуют фрагменты офиолитов, флишевые и островодужные комплексы. Такие террейны в основном сложены позднедокембрийскими (1200–750 млн лет) вулканогенно-осадочными сериями кислого или базальт-риолитового состава и коматитическими гранитоидами, а также терригенными толщами [1]. Более древние комплексы на уровне современного эрозионного среза в этой части пояса распространены крайне ограниченно и выявлены только в пределах Жельтавского (юго-западный Казахстан) и Срединно-Тянь-шаньского террейнов, а также террейна Китайского Центрального Тянь-Шаня [1]. Комплексы с возрастом древнее 1200 млн лет, вероятно, широко представлены в глубоких горизонтах террейнов с докембрийской континентальной корой, о чем свидетельствуют изотопные составы Nd позднегокембрийских эффузивов, гранитоидов и кварцито-сланцевых толщ, а также присутствие

большого количества зерен обломочного циркона с возрастными 1200–3100 млн лет в терригенных породах неопротерозойского возраста. При этом значительная часть зерен обломочного циркона в терригенных породах имеет мезопротерозойские оценки возрастов в интервале ~1200–1500 млн лет, источники которых известны только в пределах террейна Китайского Центрального Тянь-Шаня [1–3]. Поэтому поиск мезопротерозойских комплексов в пределах других докембрийских террейнов западной части Центрально-Азиатского пояса является одной из приоритетных задач их исследований.

В настоящее время наименее изученными остаются древнейшие образования Улутауского террейна, расположенного в западной части палеозоид Центрального Казахстана. В строении доэдиакарских комплексов этого террейна преобладают рассланцованные кислые, бимодальные базальт-риолитовые и дифференцированные базальт-андезит-риолитовые серии, для которых в последнее время получены неопротерозойские оценки возраста их формирования [1, 4, 5]. Однако возраст и особенности состава жийдинской серии, которая занимает наиболее низкое положение в структуре Улутауского террейна и считается древнейшей (палеопротерозойской) [6], остаются не изученными. Поэтому задачей настоящей работы являлось получение первых U–Pb-оценок возраста пород жийдинской серии, выявление особенностей их состава и обстановок формирования.

¹Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

²Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

*E-mail: and8486@yandex.ru

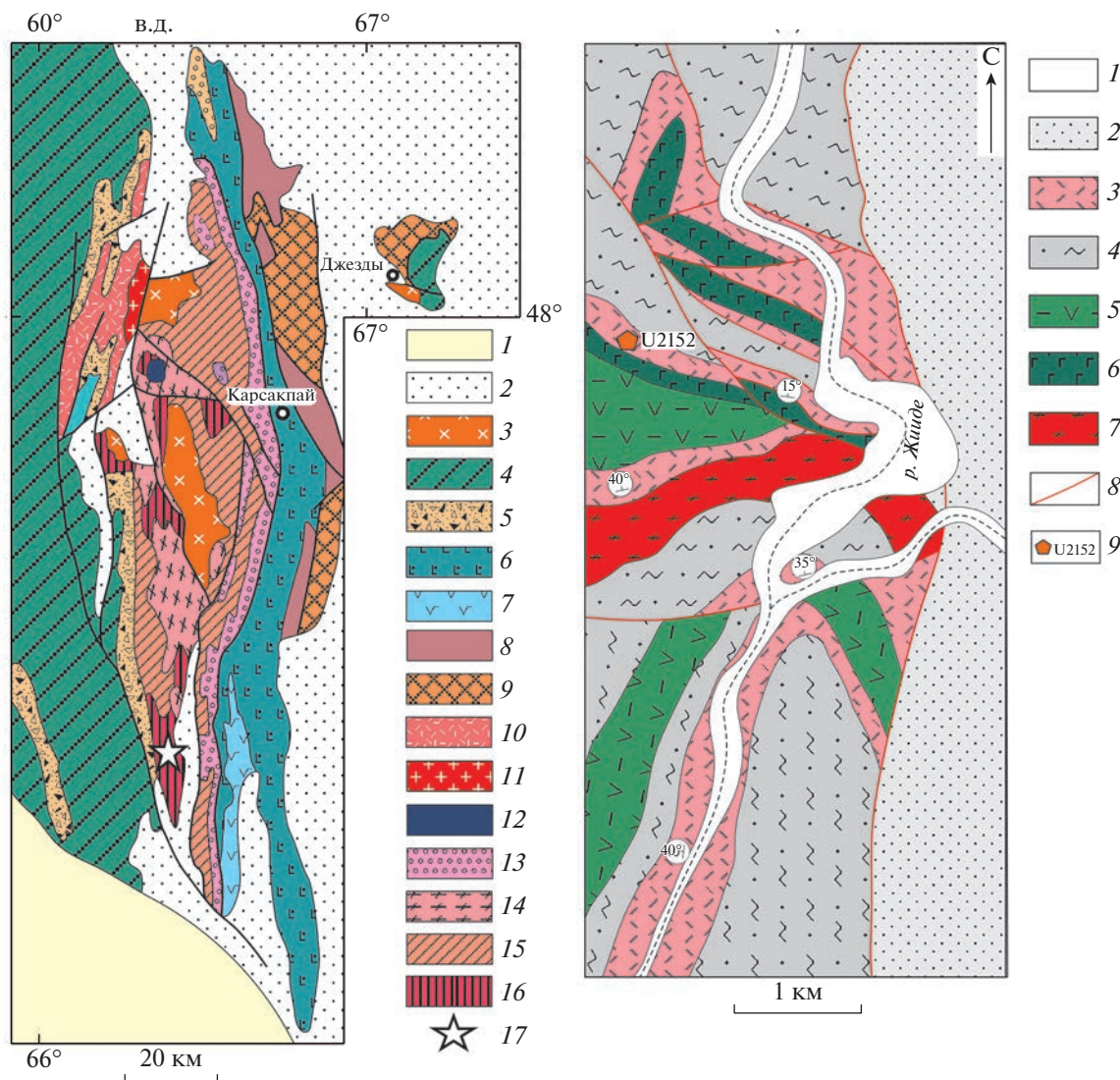


Рис. 1. а – Схема геологического строения юга Улутауского террейна по [6] с дополнениями и изменениями. 1 – мезозойско-кайнозойские отложения; 2 – девонские и каменноугольные вулканогенные толщи; 3 – палеозойские гранитоиды; 4 – нижнепалеозойские кремнисто-терригенные и терригенные толщи; 5 – эдиакарские вулканогенно-осадочные и грубообломочные толщи; 6–9 – неопротерозойские метаморфизованные вулканогенно-осадочные серии восточной части Улутауского террейна: 6 – карсакпайская, 7 – белеутинская, 8 – аралбайская, 9 – балажездинская; 10–15 – неопротерозойские метаморфизованные вулканогенно-осадочные серии и plutonические комплексы западной части Улутауского террейна: 10 – коксуйская серия, 11 – актасский гранитный комплекс, 12 – карсакпайский комплекс щелочных сиенитов, 13 – боздакская, 14 – жаункарский гранитный комплекс, 15 – майтюбинская серия; 16 – мезопротерозойская вулканогенно-осадочная жийдинская серия; 17 – участок детальных работ в нижнем течении реки Жийде (рис. 1б). б – Схема геологического строения низовьев реки Жийде составлена по материалам В.А. Голубовского, В.М. Добрынина, Т.А. Еманковой, Ю.А. Зайцева, Л.И. Филатовой и др. с дополнениями и изменениями. 1 – кайнозойские отложения; 2 – каменноугольные терригенные толщи; 3–5 – мезопротерозойская метаморфизованная вулканогенно-осадочная жийдинская серия: 3 – эффузивы и туфы кислого состава, 4 – серицитовые, серицит-хлоритовые, филлитовидные сланцы и кварцито-сланцы, 5 – амфиболовые сланцы; 6 – рассланцованные амфиболитизированные долериты, габбро-долериты; 7 – неопротерозойские рассланцованные гранитоиды; 8 – разрывные нарушения; 9 – место отбора и номер пробы для U–Pb-изотопно-геохронологических исследований.

Жийдинская серия распространена в южной части Улутауского террейна, приурочена к юго-западному крылу Майтюбинского антиклинария, где слагает отдельные блоки, протягивающиеся в субмеридиональном направлении на 130 км (рис. 1 а). Наиболее полно жийдинская серия представлена в районе р. Жийде (рис. 1 б), где она

сложена чередующимися филлитовидными сланцами, кварцито-сланцами, эффузивами основного и кислого состава, смятыми в складки субмеридионального простирания. Филлитовидные сланцы характеризуются тонкозернистой структурой и состоят из обломков кварца (30–60%), полевых шпатов (5–10%) и матрикса (до 70%).

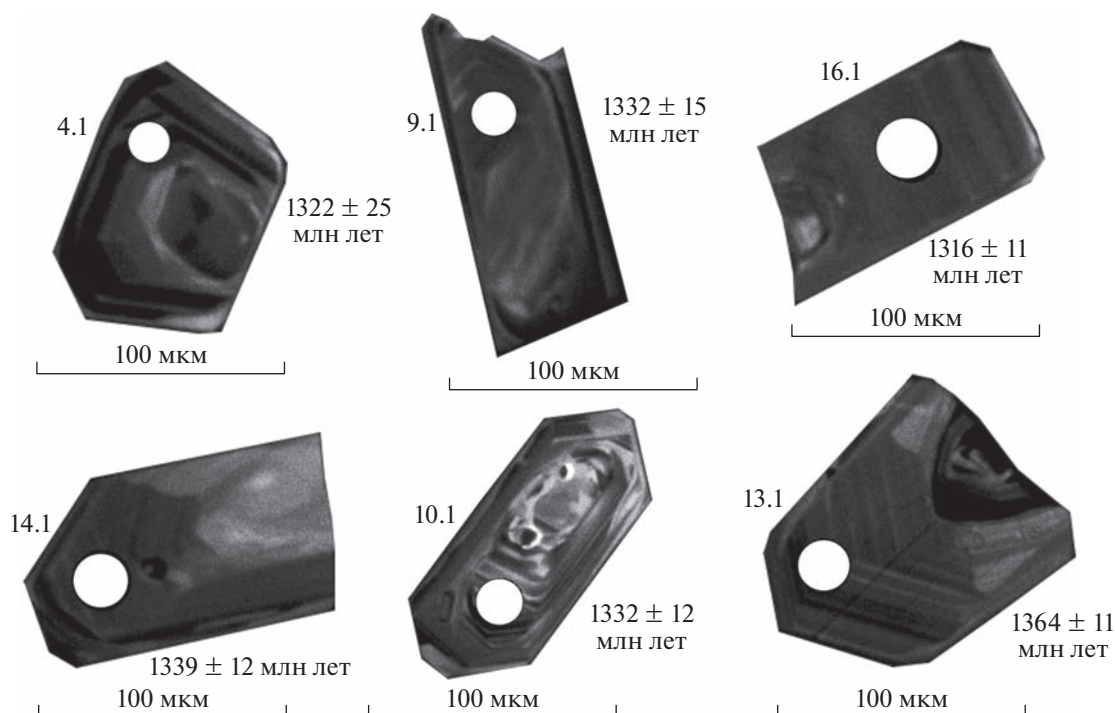


Рис. 2. Микрофотографии кристаллов акцессорного циркона из риолитов жийдинской серии (проба U-2152), выполненные на сканирующем электронном микроскопе “Camscap” MX 2500S в режиме катодолуминесценции. Номера зерен соответствуют номерам анализов в табл. 1. Кругами обозначены участки датирования.

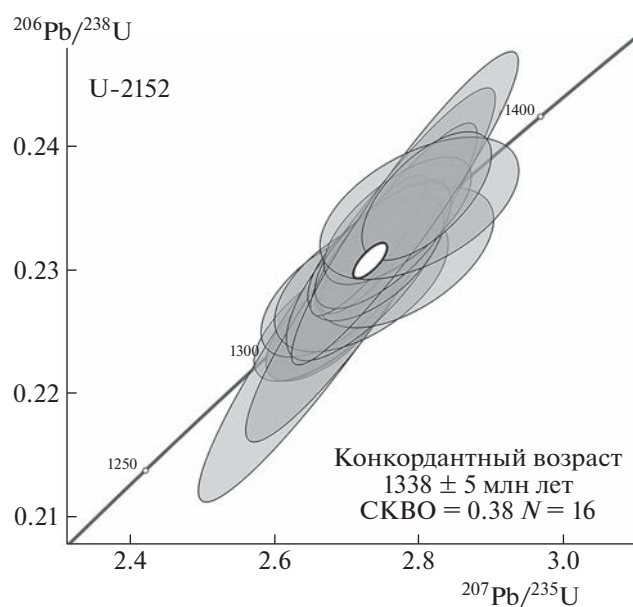


Рис. 3. Диаграмма с конкордией для цирконов из риолитов жийдинской серии (проба U-2152).

В составе матрикса преобладает мусковит, в меньшей степени присутствует хлорит, углистое вещество. Характерно постоянное присутствие зерен рутила, циркона и турмалина. Кварцито-сланцы представлены серицит- и хлорит-серицит-кварцевыми разностями с бластопсаммито-

вой и бластоалевролитовой структурами. Вулканические породы испытали метаморфические преобразования, выраженные в формировании сланцеватой, местами полосчатой, текстуры. Основная масса эффузивов кислого состава перекристаллизована и превращена в мелкозерни-

Таблица 1. Результаты геохронологических U–Pb-исследований циркона из пробы U-2152

№ анализа	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ %	Содержание, мкг/г			Изотопные отношения				Rho	Возраст, млн лет	
		$^{206}\text{Pb}^*$	U	Th	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$
U2152_15.1	0.18	42	215	138	0.66	0.0860 ± 1.0	0.2258 ± 0.9	2.6774 ± 1.4	0.7	1313 ± 11	1338 ± 20
U2152_16.1	0.16	37	191	95	0.51	0.0856 ± 1.2	0.2264 ± 0.9	2.6713 ± 1.5	0.6	1316 ± 11	1328 ± 22
U2152_4.1	0.13	51	259	126	0.50	0.0862 ± 1.0	0.2275 ± 3.0	2.7029 ± 3.1	1.0	1322 ± 35	1342 ± 19
U2152_2.1	0.07	33	170	76	0.46	0.0853 ± 1.2	0.2280 ± 0.9	2.6821 ± 1.5	0.6	1324 ± 11	1322 ± 24
U2152_3.1	0.09	53	268	167	0.64	0.0862 ± 0.9	0.2287 ± 2.3	2.7179 ± 2.4	0.9	1328 ± 27	1342 ± 17
U2152_10.1	0.17	36	184	120	0.68	0.0859 ± 1.5	0.2294 ± 1.0	2.7185 ± 1.8	0.6	1332 ± 12	1337 ± 28
U2152_9.1	0.07	39	197	123	0.65	0.0864 ± 1.1	0.2296 ± 1.3	2.7340 ± 1.7	0.8	1332 ± 15	1347 ± 21
U2152_14.1	0.12	23	116	63	0.56	0.0872 ± 1.5	0.2309 ± 1.0	2.7762 ± 1.8	0.5	1339 ± 12	1365 ± 29
U2152_7.1	0.00	101	508	333	0.68	0.0856 ± 0.6	0.2312 ± 0.8	2.7292 ± 1.0	0.8	1341 ± 10	1330 ± 12
U2152_12.1	0.09	45	225	160	0.73	0.0861 ± 1.1	0.2312 ± 0.9	2.7440 ± 1.4	0.6	1341 ± 11	1340 ± 21
U2152_1.1	0.00	100	501	472	0.97	0.0853 ± 0.6	0.2320 ± 1.0	2.7272 ± 1.2	0.9	1345 ± 13	1322 ± 12
U2152_11.1	0.00	45	228	129	0.58	0.0860 ± 1.0	0.2320 ± 0.9	2.7518 ± 1.4	0.7	1345 ± 11	1339 ± 19
U2152_6.1	0.00	38	189	118	0.65	0.0860 ± 1.1	0.2337 ± 0.9	2.7714 ± 1.5	0.6	1354 ± 11	1338 ± 22
U2152_8.1	0.00	61	303	182	0.62	0.0856 ± 0.8	0.2353 ± 2.2	2.7758 ± 2.3	0.9	1362 ± 27	1328 ± 16
U2152_5.1	0.00	18	87	156	1.86	0.0862 ± 1.7	0.2353 ± 1.0	2.7953 ± 2.0	0.5	1362 ± 13	1342 ± 33
U2152_13.1	0.00	46	227	125	0.57	0.0865 ± 1.0	0.2357 ± 0.9	2.8107 ± 1.3	0.7	1364 ± 11	1349 ± 19

Примечание. $^{206}\text{Pb}_{\text{с}}$ — обыкновенный Pb; $^{206}\text{Pb}^*$ — радиогенный Pb; Rho — коэффициент корреляции ошибок $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Ошибки измерений изотопных отношений даны в процентах на уровне 1σ. Номера анализов в табл. 2 соответствуют номерам зерен на рис. 2.

стый лепидогранобластовый агрегат, состоящий из кварца, щелочного полевого шпата, кислого плагиоклаза, биотита, мусковита, хлорита. К реликтовым относятся минералы вкрапленников — кварц и щелочной полевой шпат, формирующие порфириовидный облик породы. Эффузивы основного состава превращены в альбит-эпидот-актинолитовые сланцы с нематогранобластовой, реже с реликтовой порфириовой структурой.

Для установления возраста вулканических пород жийдинской серии были проведены U–Pb-изотопно-геохронологические исследования зерен акцессорного циркона. Для этого была использована проба U-2152 ($47^\circ 04' 43.8''$ с.ш.; $66^\circ 27' 00.6''$ в.д.), отобранная из риолитов нижней части разреза жийдинской серии.

Выделение циркона из риолитов проводилось по стандартной методике с использованием тяжелых жидкостей. Зерна циркона были имплантированы в эпоксидную смолу вместе с зернами стандартных цирконов TEMORA и 91500, а далее сошлифованы приблизительно на половину их толщины и приполированы. Для выбора участков зерен циркона для локальных геохронологических исследований использовались микрофотографии,

выполненные на сканирующем электронном микроскопе “Camscan” MX 2500S в режимах вторичных электронов и катодолюминесценции.

U–Pb (SIMS)-геохронологические исследования цирконов выполнены на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ. Измерения изотопных отношений U и Pb проводились по традиционной методике, описанной в [7]. Интенсивность первичного пучка молекулярных отрицательно заряженных ионов кислорода составляла $\sim 2.5\text{--}4$ нА, диаметр пятна (кратера) — $\sim 15 \times 10$ мкм. Полученные данные обрабатывались с помощью программ SQUID [8] и ISOPLOT [9].

Акцессорный циркон из риолитов представлен в основном идиоморфными кристаллами призматического и дипирамидального габитуса размером 100–150 мкм, а также их обломками, с коэффициентом удлинения от 2 до 3. Кристаллы характеризуются хорошо проявленной магматической зональностью (рис. 2).

Конкордантный возраст, рассчитанный на основании выполненных U–Pb-геохронологических исследований для 16 кристаллов циркона, составляет 1338 ± 5 млн лет (рис. 3, табл. 1), что

Таблица 2. Содержания породообразующих окислов (%), малых и редкоземельных элементов (г/т) в породах жидинской серии

№ п/п	1	2	3	4
№ проб	U-2151/1	U-2151/2	U-2152	U-2154
SiO ₂	46.21	45.76	75.70	74.63
TiO ₂	1.81	1.84	0.28	0.23
Al ₂ O ₃	12.14	12.96	11.55	11.14
Fe ₂ O ₃	6.58	5.82	0.79	0.38
FeO	9.78	10.23	0.49	0.78
MnO	0.25	0.23	0.04	0.05
MgO	7.49	7.28	0.46	0.35
CaO	8.58	8.18	1.02	2.05
Na ₂ O	2.01	2.42	1.89	1.71
K ₂ O	0.81	0.74	6.47	6.91
P ₂ O ₅	0.45	0.56	0.06	0.04
п.п.п.	2.79	2.86	1.21	1.66
Сумма(%)	99.91	99.87	99.95	99.91
FeO*	15.70	15.47	1.20	1.12
Na ₂ O + K ₂ O	2.82	3.16	8.36	8.61
K ₂ O/Na ₂ O	0.40	0.31	3.43	4.05
(Na + K)Al	0.34	0.37	0.88	0.92
FeO*/FeO* + MgO	0.67	0.68	0.73	0.76
ASI	0.63	0.68	0.97	0.80
MALI	-5.76	-5.02	7.34	6.56
Sc	51.2	42.6	2.5	2.4
V	294	302	12.1	6.5
Cr	132	172	75.1	73.7
Co	40.3	37.3	2.1	3.1
Ni	57.4	63.7	33.0	34.1
Cu	69.9	55.2	9.4	7.6
Zn	110	115	77.4	20.4
Ga	17.7	17.2	17.0	15.5
Rb	18.3	13.0	71.4	106
Sr	365	253	83.2	62.8
Y	35.6	32.3	60.8	70.7
Zr	229	58.2	448	484
Nb	22.9	22.1	84.7	91.6
Cs	0.60	0.54	0.26	0.31
Ba	609	468	826	720
La	40.1	42.4	93.1	111
Ce	81.0	87.2	181	214
Pr	9.9	10.7	20.4	24.2
Nd	42.6	43.3	76.7	92.0
Sm	8.5	8.8	14.6	17.8
Eu	2.8	3.1	1.1	1.4

Таблица 2. Окончание

№ п/п	1	2	3	4
Gd	8.2	7.8	12.7	15.9
Tb	1.2	1.2	2.1	2.5
Dy	6.8	6.3	12.4	14.7
Ho	1.4	1.2	2.5	2.8
Er	3.7	3.2	7.0	7.9
Tm	0.49	0.42	1.0	1.1
Yb	3.1	2.8	6.4	7.0
Lu	0.45	0.33	0.86	0.96
Hf	4.9	1.4	12.7	13.5
Ta	1.3	1.2	5.0	5.7
W	0.65	0.49	0.64	0.86
Ti	0.14	0.070	0.32	0.38
Pb	4.4	3.2	32.2	6.3
Th	2.0	1.7	20.2	22.1
U	0.70	0.41	3.8	3.5
(La/Yb) _n	11.6	15.1	6.9	17.3
(Gd/Yb) _n	2.1	2.3	1.6	1.8
Eu/Eu*	1.044339	1.13	0.55	0.79

Примечание. 1–2 – базальты; 3–4 – риолиты. $FeO^* = 0.9 \times Fe_2O_3 + FeO$; $ASI = Al/(Ca - 1.67P + Na + K)$; $MALI = Na_2O + K_2O - CaO$; $Eu/Eu^* = (Eu)_n/[(Sm)_n \times (Gd)_n]^{0.5}$.

соответствует первой половине эктазийского периода мезопротерозоя [10]. Морфологические особенности циркона указывают на его магматическое происхождение и позволяют считать полученную оценку возраста соответствующей времени кристаллизации расплава, родоначального для риолитов.

Составы вулканических пород жийдинской приведены в табл. 2. Для вулканитов серии характерен контрастный базальт-риолитовый состав пород. Высокие содержания в базальтах TiO_2 (~1.8 мас. %) и значения $FeO^*(FeO^* + MgO)$ (~0.68), характерные для пород толеитовой серии, на фоне высоких концентраций редкоземельных элементов (210–220 г/т) и дифференцированных спектров распределения $((La/Yb)_N = 11–15)$ сближают их с континентальными платобазальтами.

Риолиты принадлежат щелочно-известковой серии ($Na_2O + K_2O - CaO = 6.5–7.4$), характеризуются умеренной глиноземистостью ($Al/(Ca - 1.67P + Na + K) = 0.80–0.97$) и железистостью ($FeO^*(FeO^* + MgO) = 0.73–0.76$). При высоких содержаниях редкоземельных элементов ($\Sigma PЗЭ = 430–512$ г/т) характерны дифференцированные спектры распределения $((La/Yb)_N = 7–17)$ и Eu-аномалия ($Eu/Eu^* = 0.54–0.79$). При высоких концентрациях крупноионных литофильных элементов риолиты также обогащены высокорядными элементами (Zr, Nb, Y, Ce), что определяет

их принадлежность к гранитам А-типа, сформированным во внутриплитной обстановке (рис. 4) [12, 14].

Низкое отношение Nb/Nb^* ($Nb_N/[(Th_N^*La_N)]^{1/2} = 0.82–0.9$) в базальтах свидетельствует об отсутствии контаминации расплавов веществом континентальной коры, что позволяет рассматривать их обогащение крупноионными литофильными и высокорядными элементами как характеристику источника. Это предположение подтверждает расположение фигуративных точек на диаграмме Th/Yb–Nb/Yb в поле E-MORB (рис. 4). При этом отношения $Zr/Y - Nb/Y$ в базальтах на фоне обеднения их тяжелыми РЗЭ $((Gd/Yb)_N = 1.6–2.4)$ предполагают плюмовую природу родоначальных расплавов, образованных на уровне устойчивости граната (рис. 4) [15].

Таким образом, эффузивы жийдинской серии образуют бимодальную серию, формирование которой происходило в первой половине эктазийского периода мезопротерозоя. Серия представляет собой ассоциацию континентальных базальтов и внутриплитных риолитов, наиболее типичную для обстановок континентального рифтогенеза. Близкие по возрасту магматические комплексы в западной части Центрально-Азиатского пояса выявлены только в пределах террейна

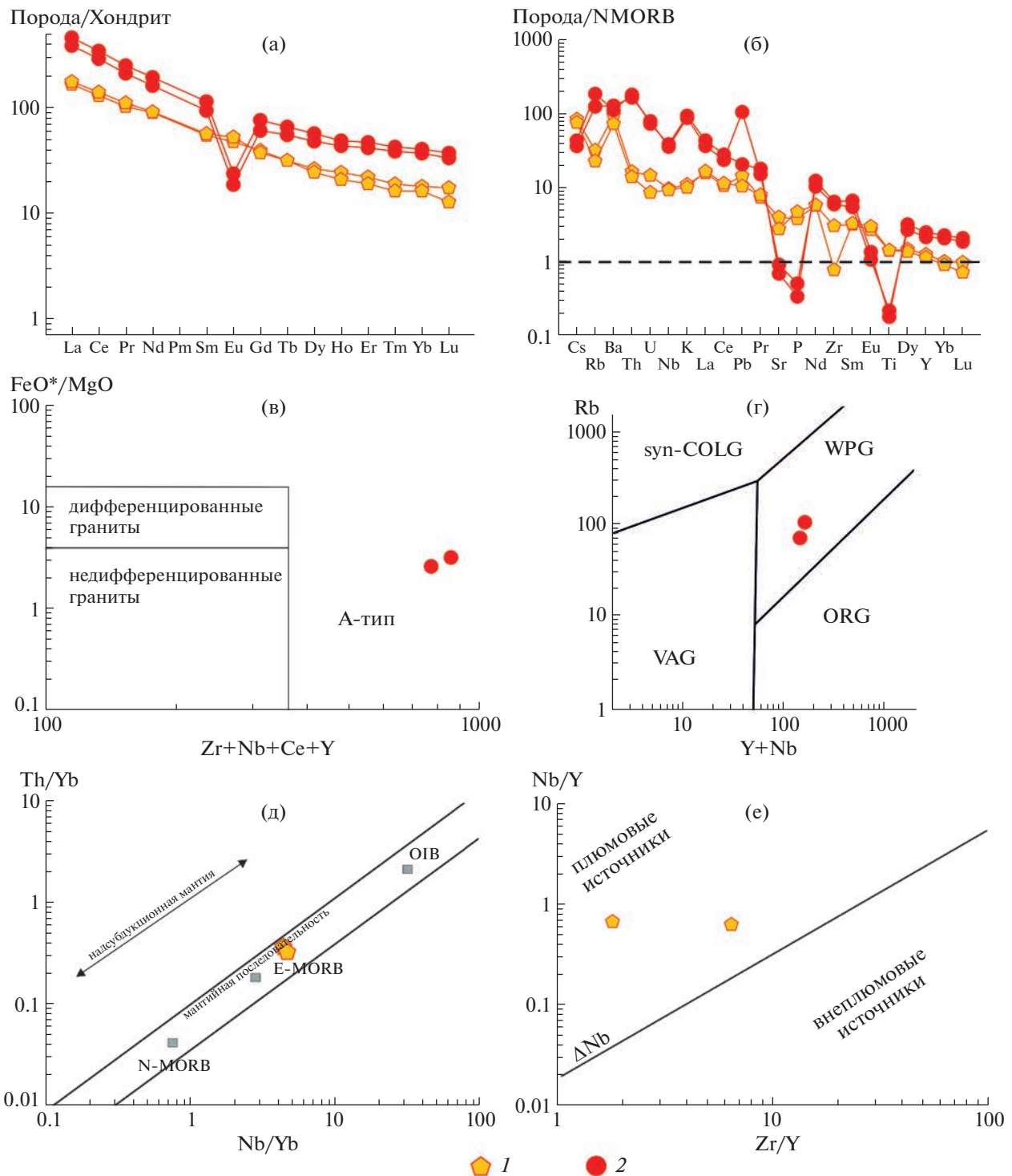


Рис. 4. Петро-геохимические характеристики эффузивных пород жидинской серии 1 – метабазальты; 2 – рассланцованные риолиты. а – Графики распределения РЗЭ, нормированных на хондрит [11] для базальтов и риолитов; б – мультиэлементные диаграммы редких элементов, нормированных на N-MORB для базальтов и риолитов [11]; в – диаграмма $\text{FeO}^*/\text{MgO} - \text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}$ для риолитов по [12]; г – диаграмма $\text{Rb} - \text{Y} + \text{Nb}$ для риолитов; д – диаграмма $\text{Th}/\text{Yb} - \text{Nb}/\text{Yb}$ для базальтов [13]; е – диаграмма $\text{Nb}/\text{Y} - \text{Zr}/\text{Y}$ с линией ΔNb ($1.74 + \log(\text{Nb}/\text{Y}) - 1.92\log(\text{Zr}/\text{Y})$) [14].

Китайского Центрального Тянь-Шаня, где представлены островодужными гранитоидами с возрастами 1410–1450 млн лет [1].

Раннемезопротерозойские магматические комплексы (~1.4 млрд лет) широко распространены в пределах древних кратонов, входивших в

структуру суперконтинента Нуна (Колумбия), где представлены дайковыми роями, силлами, мафит-ультрамафитовыми комплексами, гранитами рапакиви. Этот этап мезопротерозойского магматизма связывается с процессами континентального рифтогенеза, который сопровождал распад этого суперконтинента в интервале 1500–1250 млн лет [16, 17].

Геохимические особенности базальтов жийдинской серии указывают на формирование данной ассоциации в рифтогенной обстановке, вызванной деятельностью мантийного плюма, что привело к внедрению обогащенных базитовых расплавов и дальнейшему плавлению комплексов докембрийской коры Улутауского террейна с образованием кислых эффузивов А-типа. Это позволяет предполагать, что бимодальная базальт-риолитовая ассоциация жийдинской серии могла являться фрагментом крупного магматического пояса, возникшего в процессе распада суперконтинента Нуна (Колумбия).

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-05-00108), в рамках выполнения государственного задания ГИН РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Degtyarev K., Yakubchuk A., Tretyakov A., Kotov A., Kovach V. Precambrian geology of the Kazakh Uplands and Tien Shan: An overview // *Gondwana Research*. 2017. V. 47. P. 44–75.
2. Kanygina N.A., Tretyakov A.A., Degtyarev K.E., Kovach V.P., Skuzovatov S.Y., Pang K.-N., Wang K.-L., Lee H.-Y. Late mesoproterozoic–early neoproterozoic quartzite–schist sequences of the Aktau–Mointy terrane (Central Kazakhstan): provenance, crustal evolution, and implications for paleotectonic reconstruction // *Precambrian Research*. 2021. V. 354. P. 106040.
3. Kovach V., Degtyarev K., Tretyakov A., Kotov A., Tolmacheva E., Wang K.-L., Chung S.-L., Jahn B.-M. Sources and provenance of the Neoproterozoic placer deposits of the Northern Kazakhstan: Implication for continental growth of the western Central Asian Orogenic Belt // *Gondwana Research*. 2017. V. 47. P. 28–43.
4. Третьяков А.А., Дегтярев К.Е., Каныгина Н.А., Данукалов Н.К. Позднепротерозойский возраст дифференцированных вулканогенных комплексов Улутауского массива (Центральный Казахстан): результаты U–Th–Pb (SIMS)-геохронологических исследований // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 494. № 1. С. 9–13.
5. Третьяков А.А., Дегтярев К.Е., Данукалов Н.К., Каныгина Н.А. Неопротерозойский возраст железорудной вулканогенно-осадочной серии Улутауского террейна (Центральный Казахстан) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 502. № 2. С. 49–55.
6. Филатова Л.И. Стратиграфия и историко-геологический (формационный) анализ метаморфических толщ докембрия Центрального Казахстана. М.: Недра, 1983. 160 с.
7. Whilliams I.S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe // *Reviews in Economic Geology*, 1998. V. 7. P. 1–35.
8. Ludwig K.R. SQUID 1.00, A User's Manual // Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2000. No. 2. 2455 Ridge Road, Berkeley. CA 94709, USA. 17 p.
9. Ludwig K.R. ISOPLOT 3.00. A user's manual // Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2003. № 4. 2455 Ridge Road, Berkeley. CA 94709. USA. 70 p.
10. Cohen K.M., Finney S.C., Gibbard P.L., Fan J.X. The ICS International Chronostratigraphic Chart // *Episodes*. 2013 (updated 02. 2022). V. 36. № 3. P. 199–204.
11. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Magmatism in the ocean basins* / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. Spec. Publ. 42. Geol. Soc. London, 1989. P. 313–345.
12. Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. A-type granites-geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1987. V. 95. P. 407–419.
13. Pearce J.A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust // *Lithos*. 2008. V. 100. P. 14–48.
14. Pearce J.A., Harris N.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // *Journal of Petrology*. 1984. V. 25. P. 956–983.
15. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // *Lithos*. 2005. V. 79. P. 491–504.
16. Evans D.A., Mitchell R.N. Assembly and breakup of the core of Paleoproterozoic–Mesoproterozoic supercontinent Nuna // *Geology*. 2011. V. 39. P. 443–446.
17. Pisarevsky S.A., Elming S.-A., Pesonen L.J., Li Z.-X. Mesoproterozoic paleogeography: Supercontinent and beyond // *Precambrian Research*. 2014. V. 244. P. 207–225.

MESOPROTEROZOIC BIMODAL MAGMATISM OF THE ULUTAU TERRANE OF CENTRAL KAZAKHSTAN

A. A. Tretyakov^{a,#}, Academician of the RAS K. E. Degtyarev^a, N. A. Kanygina^a, and B. V. Fedorov^b

^aGeological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

^bSergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russian Federation

[#]E-mail: and8486@yandex.ru

In the southern part of the Ulutau terrane (Central Kazakhstan), a complex of volcanogenic rocks of basalt-rhyolite composition of the Zhiide series has been studied. Based on the U–Pb (SIMS) geochronological study of accessory zircons, an estimate of the age of rhyolites was obtained for the first time – 1338 ± 5 million years, which corresponds to the first half of the Ectasia period of the Mesoproterozoic. The features of the composition of the basic and acidic effusions indicate their formation in the context of continental rifting caused by the activity of the mantle plume.

Keywords: basalts, rhyolites, Central Kazakhstan, Mesoproterozoic, rifting, Nuna (Colombia)