

УДК 551.7

ВОЗРАСТ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ТУФОВ В РАЗРЕЗАХ БАСИНСКОЙ И ЗИГАНСКОЙ СВИТ АШИНСКОЙ СЕРИИ ВЕНДА (ЭДИАКАРИЯ) НА ЮЖНОМ УРАЛЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ U–Th–Pb (SIMS И La–ICP–MS) ДАТИРОВАНИЯ АКЦЕССОРНОГО ЦИРКОНА

© 2023 г. А. В. Рязанцев^{1,*}, А. А. Разумовский¹, И. А. Новиков², А. И. Куртукова¹, Н. А. Каныгина¹, Ю. В. Яшунский¹, А. С. Дубенский¹, В. С. Шешуков¹

Представлено академиком РАН М.А. Федонкиным 11.08.2022 г.

Поступило 15.08.2022 г.

После доработки 05.10.2022 г.

Принято к публикации 06.10.2022 г.

Для пепловых туфов из разрезов басинской и зиганской свит ашинской серии венда (эдиакария) Южного Урала U–Th–Pb-методом SIMS (SHRIMP II) и La–ICP–MS по акцессорному циркону получены значения изотопного возраста. Составы туфов соответствуют риолитам, комендитам, трахитам, трахиандезитам. Они имеют редкометальную геохимическую специализацию. Конкордантное значение U–Pb-возраста циркона из туфов басинской свиты составило 578 ± 7 , 577 ± 7 и 568 ± 5 млн лет (SHRIMP II). Возраст зерен циркона из двух других точек басинской свиты 573 ± 4 и 574 ± 3 млн лет (La–ICP–MS). Возраст зерен циркона из туфов зиганской свиты 566 ± 5 млн лет (SHRIMP II). Туфы накапливались в тыловой части окраинно-континентального вулканического пояса.

Ключевые слова: венд, эдиакарий, ашинская серия, басинская свита, зиганская свита, вулканические туфы, Южный Урал, U–Pb-возраст зерен циркона, SHRIMP II, La–ICP–MS

DOI: 10.31857/S2686739722602149, EDN: PCXZAL

Вендское время на окраине Балтики, комплексы которой представлены в Башкирском мегантиклинории, озаменовано аккреционно-коллизийными событиями, орогенезом и накоплением моласс ашинской серии [1, 8, 14, 15]. Rb–Sr-возраст глауконитов из бакеевской свиты низов разреза серии определяется значением 642 ± 9 млн лет [5]. На уровне верхнего венда в разрезе серии выделяются урюкская, басинская, кукаркаульская и зиганская свиты, в разрезе которых преобладают терригенные породы с редкими маломощными горизонтами вулканических туфов. По циркону из пепловых туфов в разрезе верхнего венда в Усть-Катаве U/Pb-методом (La–ICP–MS) ранее было получено значение возраста 548 ± 4 [19] (рис. 1, разрез 3). Стратиграфическое положение фрагмента разреза с туфами является предметом дискуссии. Согласно одним схемам, он принадлежит зиганской свите [4, 6, 19], согласно другим — басинской свите [12, 15].

По мнению [17] U–Pb (La–ICP–MS)-датировка циркона 548 ± 4 млн лет [19] нуждается в пересмотре. Дискуссионность вопросов корреляции разрезов ашинской серии и ее возраста обострилась после получения для циркона из туфов басинской свиты на западном крыле Алатауского антиклинория значения U–Pb-возраста (SHRIMP II) 573 ± 2 млн лет [13] (рис. 1, разрез 1, проба 1).

Для дополнения характеристики разрезов верхнего венда, более надежной их корреляции, уточнения времени проявления вулканизма и его геохимических характеристик, а также для установления возрастных интервалов распространения эдиакарской фауны, нами исследованы разрезы басинской и зиганской свит с ранее известными и новыми местонахождениями туфов. Во всех разрезах определен U–Pb-возраст выделенного из туфов акцессорного циркона (SHRIMP II и La–ICP–MS). Исследования на приборе SHRIMP II производились во ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург), La–ICP–MS в ГИН РАН (Москва).

Геологическое положение точек опробования вулканических туфов. Разрез на восточном крыле Алатауского антиклинория. Восточнее с. Толпарово, в нижней части разреза басинской свиты, выше пачки переслаивающихся бордовых и

¹Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: avryazan51@mail.ru

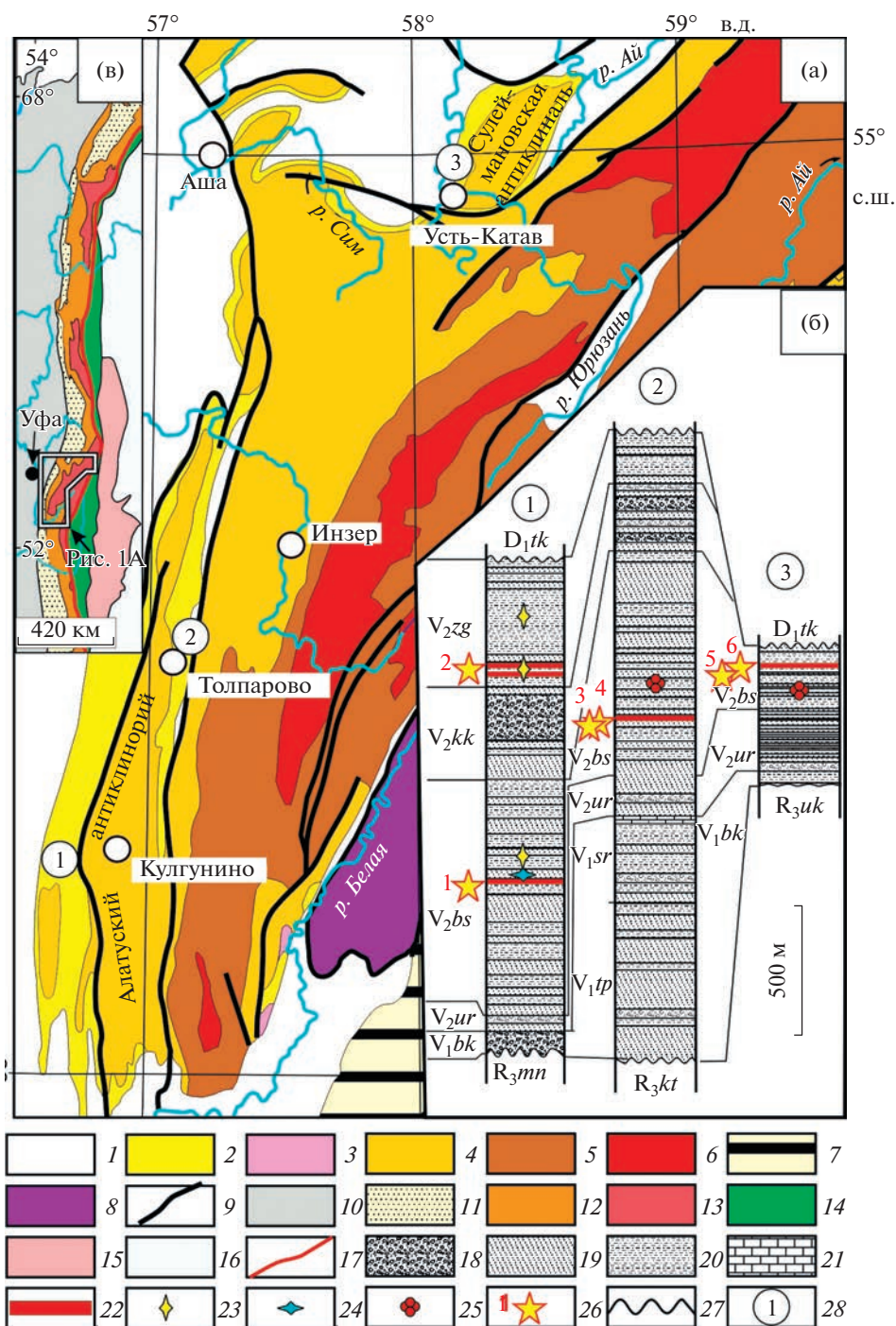


Рис. 1. Схема Башкирского мегантиклинория (а) по [10], схема корреляции разрезов ашинской серии венда (б) с использованием [6, 12, 15, 20]. На схеме структурной зональности Урала (в) положение района рис. а. 1 – палеозойские толщи; 2 – ашинская серия, венд; 3–5 – толщи рифей: 3 – терминального, 4 – верхнего, 5 – среднего; 6 – нижнего; 7 – палеозойские и допалеозойские толщи зоны Уралтау; 8 – офиолиты; 9 – разломы; на схеме (в): 10 – чехол Русской плиты, 11 – молассы Предуральского краевого прогиба, 12 – Западно-Уральская мегазона и комплексы Тимана, 13 – Центрально-Уральская мегазона, 14 – Тагило-Магнитогорская мегазона, 15 – Восточно-Уральская и Зауральская мегазоны; 16 – чехол Западно-Сибирской плиты, 17 – Главный Уральский разлом; на схеме (б): 18 – конгломераты и конгломератобрекчии, 19 – песчаники, 20 – алевролиты, 21 – карбонаты, 22 – туфы; 23–25 – эдиакарийские фоссилии: 23 – *Agumbeia banksi*, 24 – *Kuckaraukia multituberculata*, 25 – *Palaeopascichnus* sp; 26 – пробы для определения возраста и их номера (1 – SU185-22A, 2 – 2149/2, 3 – P20203/1, 4 – P20203/2, 5 – 21142/1, 6 – 21142/2); 27 – поверхности несогласия; 28 – номера разрезов на рис. 1 б и их положение на схеме 1 а. Буквами на колонках обозначены свиты: D_{1tk} – такатинская, V_{1bk} – бакеевская, V_{1tp} – толпаровская, V_{1sr} – суировская, V_{2ur} – урюкская, V_{2bs} – басинская, V_{2kk} – куккараукская, V_{2zg} – зиганская; R_{3mn} – миньярская, R_{3kt} – катавская, R_{3uk} – укская.

зеленых алевролитов залегает пачка, содержащая туфы. (см. рис. 1, разрез 2, рис. 2 а). В ее основании находятся палевые туфоаргиллиты (5 м), выше — желто-палевые полимиктовые песчаники мелко-среднезернистые, расслоенные туфами (10 м). В разрезе присутствуют не менее 9 горизонтов мощностью по 0.5–8 см витро- и кристаллокластических туфов, разделенных пластиками песчаников мощностью 0.3–1.2 м. Выше, после необнаженного интервала 50 м залегает толща переслаивающихся зеленых песчаников и алевролитов. Пробы взяты в точке с координатами 53°59'42.5" с.ш. 57°10'36.0" в.д. из кристаллокластических туфов нижнего горизонта мощностью 0.5–1.0 см (проба P20203/1) и из залегающего в 2 метрах выше горизонта (5–8 см) кристалло-витрокластических туфов (проба P20203/2) (см. рис. 1, разрез 2, пробы 3, 4).

Разрез на западном крыле Алатауского антиклинория. В разрезе, вскрытом вдоль новой дороги Макарово-Кулгунино, присутствуют басинская, куккараукская и зиганская свиты (см. рис. 1, разрез 1). Ранее [13] в верхней части разреза басинской свиты этого разреза из горизонта кристалло- и витрокластических туфов мощностью до 7 см, залегающего среди толщи переслаивающихся серо-зеленых песчаников и алевролитов, была взята проба в точке SU185–22А (см. рис. 1, разрез 1, проба 1). По 25 кристаллам циркона из пробы получено значение возраста 573 ± 2 млн лет (СКВО = 0.0092, Вероятность = 0.92).

В этом же разрезе, выше конгломератов и гравелитов куккараукской свиты, в зиганской свите, в толще переслаивающихся пестроцветных мелкозернистых песчаников и алевролитов прослеживаются два горизонта туфов, мощностью 0.25–0.4 м, разделенные интервалом 1.8 м терригенных пород (рис. 2 в). Витрокластические туфы превращены в глины с прослойками по 2–3 мм слаболифитизированных кристаллокластических туфов. Циркон выделен из туфов верхнего горизонта в точке 2149/2 с координатами 53°34'21.0" с.ш. 56°40'37.7" в.д. (см. рис. 1, разрез 1, проба 2).

Разрез на западном крыле Сулеймановской антиклиналии. На севере Усть-Катава, ниже терригенных пород такатинской свиты среднего девона обнажается фрагмент разреза ашинской серии [3, 12, 18, 19]. Имеющиеся на сегодняшний день данные позволяют относить этот фрагмент разреза к басинской свите. Снизу вверх здесь обнажается пачка (50 м) переслаивающихся алевролитов и алевропесчаников темно-зеленого и бордового цвета, которая сменяется пачкой бордовых песчаников и алевролитов (90 м). В разрезе нижней пачки присутствуют 8 горизонтов витрокластических и лапиллиевых туфов мощностью 0.5–10 см. Циркон выделен из туфов в точке 21142 с координатами 53°56'31.30" с.ш., 58°10'10.80" в.д.

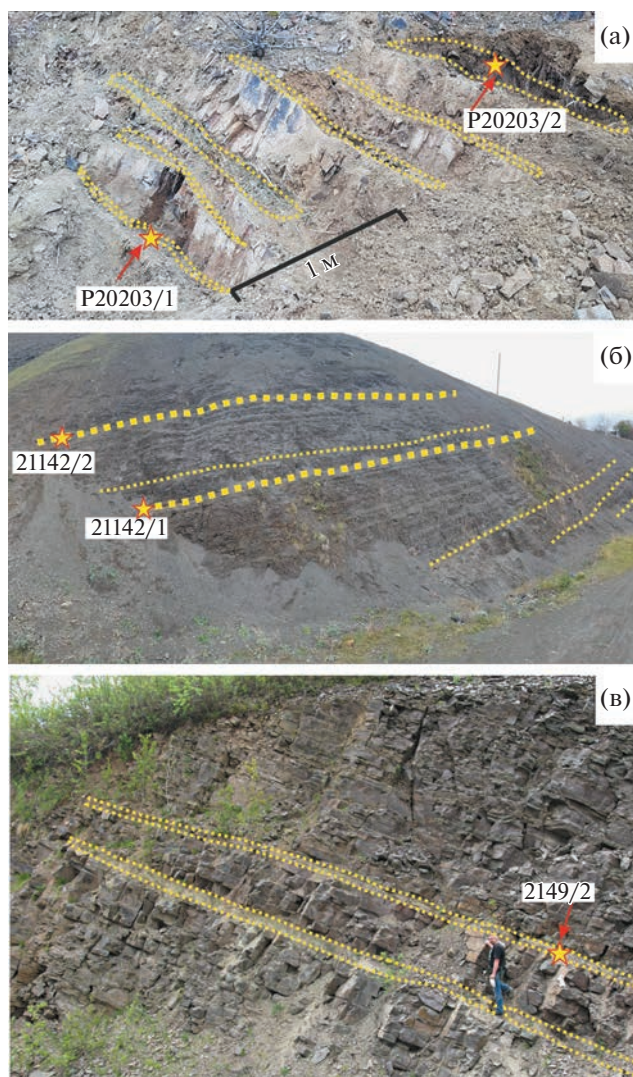


Рис. 2. Обнажения разрезов ашинской серии с вулканическими туфами. Горизонты туфов обведены, или подчеркнуты желтыми пунктирными линиями. Звездами показано положение проб для выделения цирконов и отмечены их номера. а — нижняя часть пачки с туфами в басинской свите восточнее с. Толпарово; б — басинская свита в Усть-Катаве, в — зиганская свита на дороге Макарово-Кулгунино.

из нижнего (проба 21142/1) и верхнего (проба 21142/2) наиболее мощных горизонтов витрокластических туфов (см. рис. 1, разрез 3, пробы 5, 6; рис. 2 б).

Состав туфов. Кристаллокластические туфы в басинской свите сложены кристаллами калиевого полевого шпата, альбита, кварца, биотита, хлоритизированного амфибола. Витрокластические туфы как в басинской, так и в зиганской свитах сложены пизолитами и “рогульками” стекла красного цвета, а также редкими кристаллами кварца и КПШ. В разрезе Усть-Катава среди витро-кристаллокластических туфов обнаружены

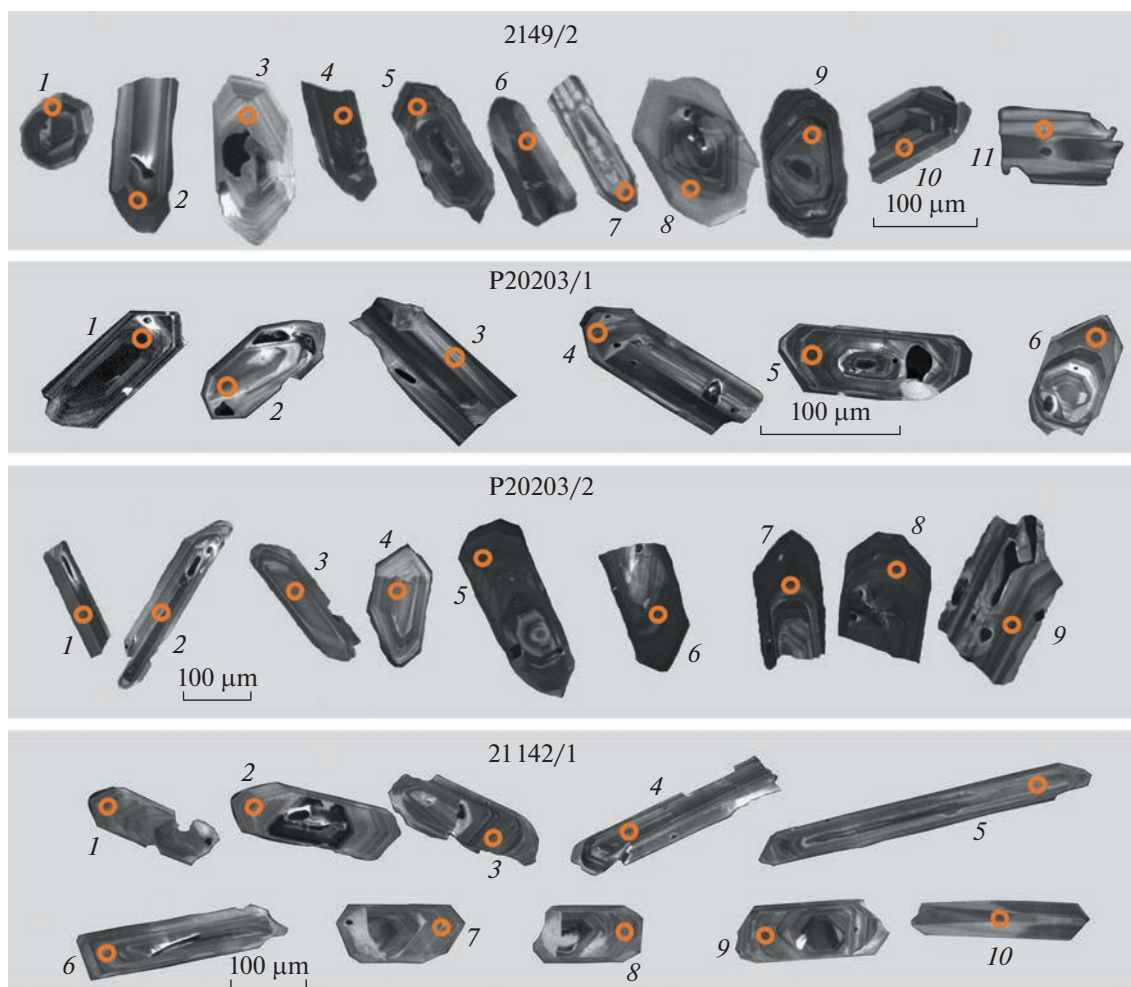


Рис. 3. Католюминесцентные микрофотографии кристаллов акцессорного циркона из проб 2149/2, P20203/1, P20203/2, 21142/1. Номера точек соответствуют номерам анализов в табл. 2.

отдельные лапилли амфиболовых трахидацитов размером 0.5–10 мм. Среди акцессорных минералов в кристалло- и кристалло-витрокластических туфах преобладают титаномагнетит, апатит и циркон, которые часто образуют совместные агрегаты, а также ксенотим, барит, флоренсит.

Туфы всех разрезов, особенно витрокластические разности, изменены вторичными процессами и часто превращены в глины. В этих породах проявлены метасоматические процессы, отраженные в составе акцессорных зерен циркона, которые часто имеют повышенные содержания U и Th. Реконструкция составов туфов по малоподвижным элементам на диаграмме Nb/Y–Zr/Ti [16] показывает принадлежность туфов к риолитам, комендитам, трахитам, трахиандезитам. Содержания K_2O варьируют от 1.2% в кристаллокластических, до 8% в витрокластических, превращенных в глины, туфах. В туфах проявлена редкометальная геохимическая специализация. Сумма РЗЭ в них варьирует в диапазоне (г/т) 260–

880, Zr – 172–470, U – до 17–25, Nb – 35–158 (табл. 1). Повышенные содержания Ta и Nb в туфах связаны с титаномагнетитом, РЗЭ – с флоренситом и апатитом, U и Th – с цирконом и апатитом. Содержания Ba в туфах варьируют в диапазоне 320–1240 г/т, а в разрезе басинской свиты в Усть-Катаве достигают 33658 г/т и, по-видимому, связаны с метасоматическими процессами. Спектры РЗЭ имеют дифференцированный характер ($La_n/Yb_n = 1.5–22.7$). Для всех разностей характерна отрицательная Eu-аномалия.

Результаты исследования зерен циркона. Кристаллы циркона во всех пробах идиоморфные с расплавленными включениями, без признаков перемыва (рис. 3). Во всех пробах присутствуют высокоурановые и высокоторийевые зерна циркона, которым определены позднепалеозойские, или вендские дискордантные значения возраста.

По циркону из разреза басинской свиты на восточном крыле Алатауского антиклинория для пробы P20203/1 по 6 кристаллам получено кон-

Таблица 1. Содержания петрогенных окислов (вес. %) и редких и рассеянных элементов (г/т) в туфах ашинской серии

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	52.28	57.24	58.9	57.5	61.0	77.22	71.74	71.33	52.69	50.97	51.83	48.06	55.10	54.14	64.08
TiO ₂	0.46	1.21	0.46	0.45	0.41	0.34	0.21	0.21	0.38	0.28	0.28	0.17	0.43	0.30	0.74
Al ₂ O ₃	20.05	18.55	20.0	19.5	18.0	11.75	15.63	15.83	26.42	25.94	26.38	24.21	22.94	24.73	18.68
Fe ₂ O ₃	5.9	4.14	4.8	6.7	5.1	1.76	1.76	1.76	2.61	3.40	3.65	8.51	3.60	3.25	2.69
FeO	0.1	1.2	0.00	0.00	0.00	0.59	<0.1	<0.1	0.45	1.00	0.84	0.23	0.59	0.26	0.75
MnO	0.28	0.27	0.30	0.17	0.55	0.1	0.04	0.04	0.10	0.17	0.18	0.08	0.06	0.12	0.07
MgO	4.04	3.64	3.5	3.7	3.6	1.12	1.61	1.66	1.51	1.68	1.71	2.46	2.36	2.11	2.08
CaO	0.58	0.9	0.52	0.54	0.45	0.24	0.26	0.26	0.61	0.72	0.73	0.48	0.66	0.65	0.55
K ₂ O	7.22	4.87	5.6	5.8	5.2	1.2	3.09	3.26	6.00	5.47	5.56	6.74	5.99	5.65	4.42
Na ₂ O	0.17	2.49	0.32	0.36	0.30	3.16	0.1	0.82	0.56	1.03	1.05	0.09	0.43	0.39	1.20
P ₂ O ₅	0.16	0.3	0.14	0.15	0.15	0.06	0.03	0.02	0.13	0.10	0.11	0.21	0.28	0.22	0.24
loi	8.52	4.82	5	4.70	4.80	2.25	4.52	4.7	8.50	9.12	7.59	8.73	7.49	8.15	4.42
Sum	99.76	99.62	99.50	99.60	99.56	99.79	99.88	99.88	99.96	99.89	99.91	99.97	99.94	99.96	99.92
Li	16.8	20.0	16.0	18.1	14.2	30.0	16.8	17.5	14.2	32.4	48.9	15.9	19.3	16.3	25.8
Be	7.0	2.5	5.4	5.1	5.0	2.5	5.0	5.2	5.0	2.8	4.2	19.0	12.0	13.6	5.3
Sc	9.7	7.4	7.4	8.9	7.9	4.7	5.1	5.2	7.9	19.5	20.0	4.2	10.1	10.6	15.9
V	51.3	64.8	49.7	49.8	44.2	21.7	11.5	11.2	44.2	21.1	73.4	19.2	48.1	38.8	77.4
Cr	6.7	10.2	8.0	9.9	6.6	34.8	9.4	10.0	6.6	3.5	24.2	8.3	35.3	19.9	51.6
Co	14.2	40.5	14.1	16.3	12.8	6.6	2.8	2.8	12.8	11.6	76.7	6.2	9.7	9.6	11.5
Ni	17.6	33.4	20.1	20.0	19.7	36.1	7.6	7.6	19.7	11.0	37.8	10.4	19.9	15.7	24.4
Cu	95.9	118	111	113	98.9	17.1	8.5	9.0	98.9	4.4	43.3	35.9	36.1	42.2	18.6
Zn	59.1	82.8	58.8	58.4	52.3	45.9	43.2	43.7	52.3	48.2	93.9	65.1	81.5	59.8	75.7
Ga	20.1	14.2	17.3	18.1	17.6	11.7	17.6	18.2	17.6	21.7	21.2	36.5	35.7	29.9	25.0
As	13.2	8.5	8.6	12.0	14.9	14.8	1.5	0.82	14.9	1.8	24.2	8.3	2.2	3.5	2.4
Rb	208	134	229	218	224	38.6	107	110	224	146	163	276	278	198	211
Sr	34.8	102	33.6	31.2	31.0	76.6	41.1	41.1	31.0	170	294	29.7	44.8	42.1	69.5
Y	32.9	23.6	50.8	46.1	61.4	31.7	41.2	43.0	61.4	64.5	42.8	101	116	46.4	63.6
Zr	279	172	315	322	390	470	190	201	390	389	170	339	303	217	301
Nb	52.4	34.6	51.9	48.6	50.7	31.9	32.6	32.5	50.7	33.3	20.8	75.1	62.5	158	64.0
Mo	0.66	0.49	0.65	0.93	0.89	6.2	2.2	2.8	0.89	0.86	4.8	2.4	1.1	0.45	1.1
Cs	12.9	10.3	12.9	12.2	12.8	2.4	2.4	2.5	12.8	5.3	9.9	13.0	10.2	11.5	8.3
Ba	908	1000	708	592	727	536	512	497	727	2240	33658	1236	420	317	470
La	135	38.3	175	132	190	51.0	44.2	45.6	190	129	84.1	44.8	32.9	30.1	44.8
Ce	295	97.5	325	248	355	99.0	84.6	87.4	355	316	205	101	77.8	81.2	102
Pr	29.3	9.6	33.2	26.4	37.8	10.4	9.8	10.0	37.8	39.0	26.7	12.6	9.1	8.1	11.2
Nd	109	39.4	121	103	153	37.0	36.0	36.9	153	170	102	51.7	36.3	33.0	43.1
Sm	18.6	8.5	18.5	16.0	22.3	7.0	7.4	7.5	22.3	20.6	19.0	14.1	9.5	9.0	9.2
Eu	2.7	1.2	3.2	2.7	3.7	0.87	0.58	0.61	3.7	2.3	2.9	1.5	1.2	1.3	1.4

Таблица 1. Окончание

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Gd	12.8	7.8	14.4	11.8	18.0	5.9	6.2	6.3	18.0	9.7	14.3	12.7	10.3	8.9	8.7
Tb	1.8	1.2	1.9	1.8	2.3	1.0	1.1	1.1	2.3	1.6	1.9	2.5	2.2	1.8	1.6
Dy	9.8	6.5	9.8	8.7	12.7	5.3	6.6	6.8	12.7	11.2	9.4	17.5	16.8	11.3	10.7
Ho	1.9	1.2	1.7	1.7	2.3	1.0	1.3	1.4	2.3	2.5	1.6	3.7	3.8	2.2	2.2
Er	5.2	3.1	5.1	4.7	6.4	3.1	4.2	4.4	6.4	8.3	4.5	12.0	11.8	6.1	6.6
Tm	0.68	0.38	0.72	0.67	0.77	0.49	0.69	0.73	0.77	1.2	0.59	2.1	2.0	0.98	1.1
Yb	4.6	2.3	5.0	4.8	5.6	3.3	4.7	5.0	5.6	8.3	4.0	16.5	14.7	7.0	7.7
Lu	0.62	0.31	0.68	0.67	0.77	0.50	0.73	0.77	0.77	1.2	0.67	2.5	2.2	0.95	1.1
Hf	9.4	5.0	10.2	9.7	11.7	11.5	6.2	6.6	11.7	13.1	5.8	22.2	15.7	10.6	9.4
Ta	4.7	1.6	4.5	4.2	4.3	1.5	2.8	2.9	4.3	2.1	1.5	7.5	5.1	15.6	4.7
Pb	49.3	125	69.7	60.6	67.1	71.5	27.9	23.9	67.1	11.8	66.2	20.8	17.9	9.1	10.6
Th	112	33.3	106	98.6	103	34.1	46.7	42.9	103	23.4	18.6	82.4	53.8	37.4	26.6
U	6.8	7.4	6.6	5.2	5.1	25.2	8.4	8.5	5.1	6.1	6.5	7.5	10.5	15.6	8.1

Примечание. Номера проб, район их отбора и состав туфов. 1–11 – басинская свита. 1–5 – дорога Макарово–Кулгунино: 1 – SU185–22A1, витрокластический; 2 – SU185–22A1T, кристаллокластический; 3 – P201/2, витрокластический; 4 – P201/3, витрокластический; 5 – P201/4, кристаллокластический; 6–8 – восточнее села Толпарово: 6 – P20203/1A, кристаллокластический; 7 – P20203/2A кристалло-витрокластический; 8 – P20203/2B кристалло-витрокластический; 9–11 – север Усть-Катава: 9–21142/1, витрокластический; 11–21142/2, витрокластический; 12–15 – зиганская свита, дорога Макарово–Кулгунино: 12–2149/1a, кристалло-витрокластический; 13–2149/2a, витрокластический; 14–2149/2b, кристалло-витрокластический; 15–2149/2a, витрокластический.

кордантное значение возраста 568 ± 5 млн лет, СКВО = 0.37, вероятность = 0.97. Для пробы P20203/2 по 9 кристаллам получено конкордантное значение возраста 577 ± 7 млн лет, СКВО = 0.31, вероятность = 1.0 (рис. 4, табл. 2). Объединение этих проб и расчет по 15 точкам определяют значение возраста 570 ± 2 млн лет (СКВО = 0.5, вероятность = 0.99).

Кристаллокластические туфы нижнего горизонта (проба P20203/1) имеют постепенный переход к перекрывающим песчаникам. Переходный слой мощностью около 2 см представлен полимиктовыми песчаниками с туфогенной примесью. Из этого слоя выделены зерна циркона, которые исследованы методом La–ICP–MS. Из данной пробы изучено 100 зерен циркона, для которых получено 55 конкордантных оценок возраста. Преобладающими являются идиоморфные кристаллы с возрастными интервалами от 554 до 596 млн лет с максимумами 566 (15 зерен) и 580 (11 зерен) млн лет (рис. 5), которые характеризуют синхронный осадконакоплению вулканизм. Средневзвешенное значение возраста для зерен циркона с возрастными интервалами 554–596 млн лет составляет 573 ± 4 млн лет. Детритовые окатанные зерна имеют конкордантные оценки возрастов в интервалах 1126–1161, 1443–1573 и 1973–2001 млн лет, с максимумами 1142 (4 зерна), 1481 (6 зерен), 1561 (3 зерна) и 1987 (4 зерна) млн лет. Единичные зерна

имеют неогархейские значения возраста 2517 ± 9 и 2676 ± 8 млн лет.

Для туфов в разрезе на западном крыле Сулеймановской антиклинали, на севере Усть-Катава по 10 кристаллам циркона из пробы 21142/1 получено значение возраста 578 ± 7 млн лет (СКВО = 0.27, вероятность = 0.98 (SHRIMP II)). Для пробы 21142/2 в этом же разрезе установлен U–Pb-возраст методом La–ICP–MS. Из этой пробы изучены 100 зерен циркона, для которых получены 68 конкордантных оценок возраста. Преобладающими являются зерна циркона с возрастными интервалами от 550 до 617 млн лет с максимумом по 39 зернам 574 млн лет (см. рис. 5). Средневзвешенное значение возраста по этой пробе 574 ± 3 млн лет.

Для циркона из туфов зиганской свиты на западном крыле Алатауского антиклинория в пробе 2149/2 по 11 кристаллам получен конкордантный возраст 566 ± 5 млн лет (СКВО = 0.50, вероятность = 0.97). Для 6 темных кристаллов с повышенными содержаниями урана (897–2086 г/т) получен возраст вторичных изменений в диапазоне 256 ± 4 – 297 ± 4 млн лет.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Согласно проведенным исследованиям и с учетом данных [13], басинская свита охарактери-

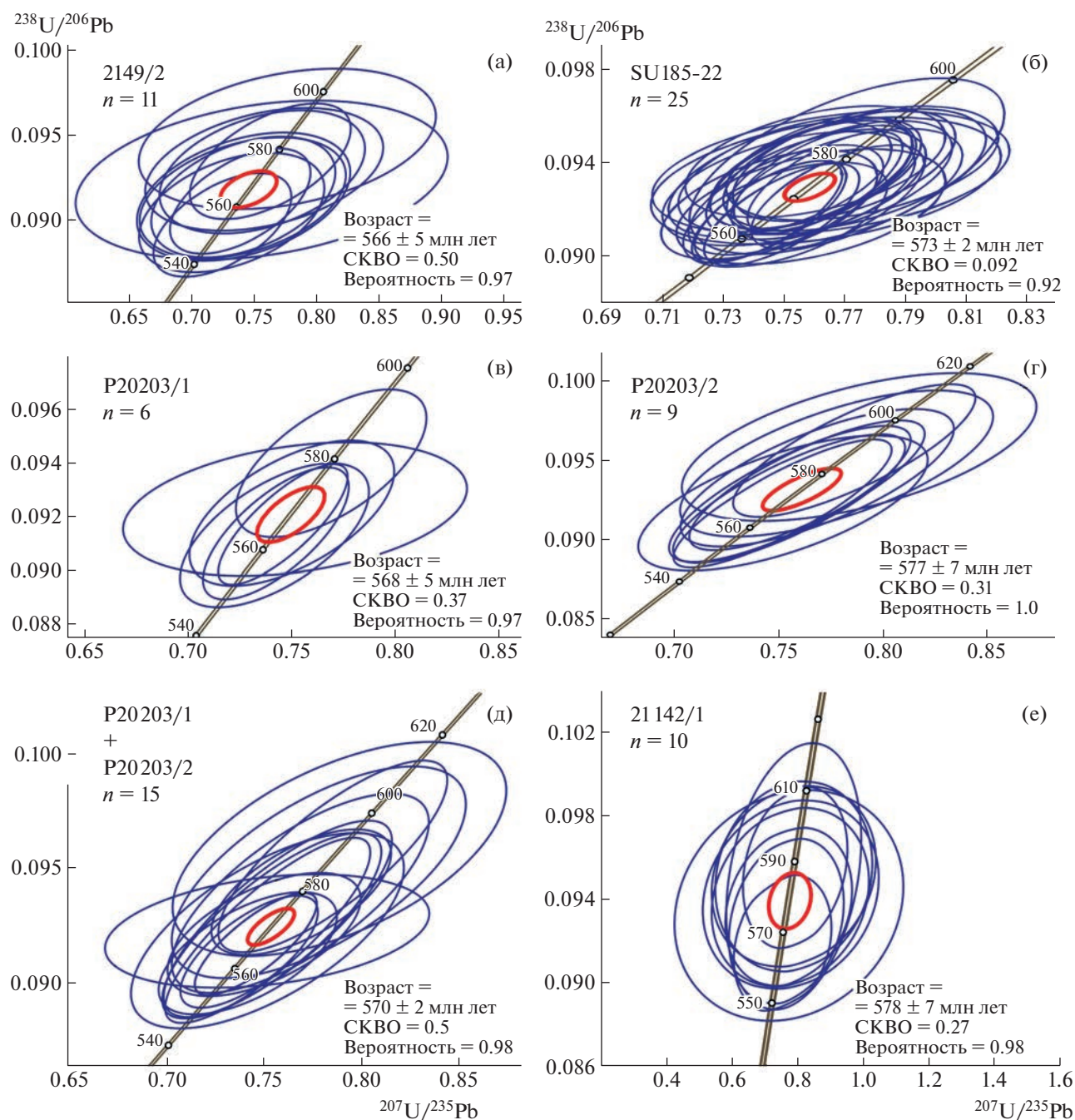


Рис. 4. Диаграммы с конкордией для циркона из туфов зиганской свиты на западном крыле Алатауского антиклинария, проба 2149/2 (а); басинской свиты на западном крыле Алатауского антиклинария, проба SU185-22 по [13] (б); басинской свиты на восточном крыле Алатауского антиклинария, проба P20203/1 (в), проба P20203/2 (г), пробы P20203/1 и P20203/2 объединенные (д); басинской свиты на крыле Сулеймановской синклинали в Усть-Катаве (е).

зована шестью близкими значениями возраста аксессуарных зерен циркона: 578 ± 7 , 577 ± 7 , 573 ± 2 , 568 ± 5 (SHRIMP II) и 573 ± 4 , 574 ± 3 млн лет (La-ICP-MS). Для зиганской свиты получено значение 566 ± 5 млн лет (SHRIMP II). Эти значения позволяют довольно уверенно определять возрастную уровень свит и коррелировать структурно разобщенные разрезы ашинской серии.

Данные, полученные по разрезу в Усть-Катаве по пробам 21142/1 и 21142/2 (578 ± 7 и 574 ± 3 млн лет) не подтверждают прежний опубликованный для этого разреза результат со значением 548 ± 4 млн лет [19], который, по-видимому, является ошибочным. Новые данные позволяют поддержать точку зрения [12, 18], согласно которой данный фрагмент разреза с туфами следует относить к басинской свите (см. рис. 1, разрез 3).

Таблица 2. Результаты U–Pb (SHRIMP-II) изотопных исследований циркона

№№ анализа	²⁰⁶ Pb _c , %	Содержания, мкг/г			²³² Th/ ²³⁸ U	Изотопные отношения			Rho	Возраст ± млн л	
		²⁰⁶ Pb*	U	Th		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ^a ± %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U, ± %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U, ± %		(1) ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	(2) ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
Басинская свита проба P20203/1											
1	0.00	45.8	581	242	0.43	0.059 ± 0.8	0.746 ± 1.3	0.09171 ± 1.0	0.8	565.6 ± 5.7	567 ± 18
2	0.00	9.67	122	89	0.75	0.0588 ± 1.8	0.747 ± 2.2	0.0921 ± 1.2	0.6	568.0 ± 6.6	560 ± 40
3	0.07	17.3	214	189	0.91	0.06035 ± 1.5	0.783 ± 1.9	0.0941 ± 1.2	0.6	579.5 ± 6.5	616 ± 32
4	0.08	14.6	186	105	0.58	0.05888 ± 1.6	0.741 ± 2.0	0.0913 ± 1.2	0.6	563.2 ± 6.4	563 ± 36
5	0.05	41.5	528	277	0.54	0.05882 ± 1.0	0.741 ± 1.4	0.09136 ± 1.1	0.7	563.6 ± 5.7	561 ± 21
6	1.72	26.4	328	186	0.59	0.0584 ± 4.1	0.743 ± 4.3	0.0922 ± 1.1	0.3	568.7 ± 6.1	545 ± 90
Басинская свита проба P20203/2											
1	0.12	25	309	304	1.01	0.059 ± 1.9	0.764 ± 2.7	0.0939 ± 1.9	0.7	578 ± 10	567 ± 42
2	0.00	14.1	177	140	0.82	0.060 ± 2.3	0.76 ± 3	0.0924 ± 1.9	0.6	569.0 ± 10	591 ± 49
3	0.00	14.1	173	161	0.96	0.059 ± 2.3	0.772 ± 3	0.0948 ± 2	0.7	584.0 ± 11	584.0 ± 50
4	0.17	9.93	120	87	0.75	0.059 ± 3.1	0.779 ± 3.7	0.0958 ± 2	0.5	590.0 ± 11	590.0 ± 68
5	0.00	37.4	456	287	0.65	0.060 ± 1.4	0.778 ± 2.3	0.0956 ± 1.8	0.8	588.0 ± 10	588.0 ± 31
6	0.00	34.9	438	218	0.51	0.0599 ± 1.4	0.756 ± 2.3	0.0929 ± 1.9	0.8	572.0 ± 10	569 ± 31
7	0.00	46.8	590	231	0.41	0.059 ± 1.2	0.751 ± 2.2	0.0923 ± 1.8	0.8	569.1 ± 10	567 ± 27
8	0.08	45	565	292	0.53	0.059 ± 1.4	0.742 ± 2.3	0.0925 ± 1.8	0.8	570.3 ± 9.9	536 ± 32
9	0.00	37.1	462	252	0.56	0.059 ± 1.4	0.757 ± 2.3	0.0934 ± 1.8	0.8	576.0 ± 10	557 ± 31
Басинская свита проба 21142/1											
1	0.02	7.89	97	57	0.61	0.059 ± 12.8	0.77 ± 13.0	0.095 ± 1.9	0.1	584 ± 11	568 ± 279
2	0.00	7.06	87	49	0.58	0.058 ± 14.1	0.75 ± 14.3	0.094 ± 2.0	0.1	581 ± 11	524 ± 310
3	0.50	9.54	118	69	0.60	0.063 ± 9.2	0.81 ± 9.4	0.094 ± 1.7	0.2	578 ± 9	706 ± 196
4	0.03	10.3	131	113	0.90	0.061 ± 7.4	0.78 ± 7.6	0.092 ± 1.5	0.2	566 ± 8	651 ± 159
5	0.78	4.57	56	34	0.63	0.071 ± 14.9	0.93 ± 15.1	0.095 ± 2.5	0.2	584 ± 14	964 ± 305
6	0.06	7.76	96	71	0.76	0.059 ± 12.2	0.77 ± 12.4	0.094 ± 1.9	0.2	581 ± 11	579 ± 266
7	0.00	9.38	114	68	0.62	0.064 ± 7.2	0.84 ± 7.4	0.096 ± 1.7	0.2	589 ± 9	726 ± 152
8	0.00	7.83	96	54	0.58	0.059 ± 12.0	0.78 ± 12.1	0.095 ± 2.0	0.2	587 ± 11	568 ± 260
9	0.30	8.8	109	64	0.60	0.069 ± 7.56	0.89 ± 7.8	0.094 ± 1.8	0.2	578 ± 10	891 ± 156
10	0.00	10.5	129	88	0.71	0.059 ± 9.6	0.77 ± 10.0	0.095 ± 2.8	0.3	585 ± 16	571 ± 207
Зиганская свита проба 2149/2											
1	0.18	26.2	340	387	1.17	0.059 ± 2.1	0.724 ± 2.5	0.0896 ± 1.4	0.6	553.1 ± 7.5	551 ± 45
2	0.31	15.9	203	163	0.83	0.057 ± 3.2	0.713 ± 3.5	0.091 ± 1.6	0.4	561.2 ± 8.4	487 ± 70
3	0.37	6.65	81	81	1.03	0.061 ± 5.3	0.800 ± 5.6	0.0949 ± 1.8	0.3	584.2 ± 10	644 ± 110
4	0.15	29.1	371	580	1.61	0.059 ± 2.1	0.736 ± 2.5	0.091 ± 1.4	0.6	561.3 ± 8.4	556 ± 45
5	0.39	20.3	260	232	0.92	0.058 ± 3.2	0.727 ± 3.5	0.0903 ± 1.6	0.4	557.6 ± 8.3	543 ± 70
6	0.33	14.2	181	209	1.19	0.057 ± 3.8	0.718 ± 4.1	0.091 ± 1.6	0.4	561.6 ± 7.7	499 ± 84
7	0.53	4.77	59	72	1.26	0.065 ± 6.6	0.828 ± 6.9	0.0929 ± 2.1	0.3	573 ± 11	762 ± 140
8	0.19	13	164	140	0.88	0.057 ± 3.7	0.721 ± 4	0.0924 ± 1.6	0.4	569.9 ± 8.9	474 ± 81
9	0.33	15.4	196	172	0.91	0.058 ± 3.8	0.731 ± 4.1	0.0912 ± 1.7	0.4	562.6 ± 9	536 ± 83
10	0.10	26.9	335	573	1.76	0.059 ± 2.4	0.764 ± 2.9	0.0934 ± 1.5	0.5	575.3 ± 8.5	581 ± 53
11	0.52	19.1	238	223	0.97	0.06 ± 4.3	0.769 ± 4.6	0.093 ± 1.6	0.3	573.1 ± 8.6	603 ± 92

Примечание: Погрешности приведены для интервала 1σ . Pb_c и Pb^* – обыкновенная и радиогенная составляющие соответственно. Ошибка калибровки стандарта для пробы P20203/1 составляла 0.35%, для пробы P20203/2 0.6%, для пробы 21142/1 – 0.39%, для пробы 2149/2 – 0.37%. Rho – коэффициент корреляции отношений $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

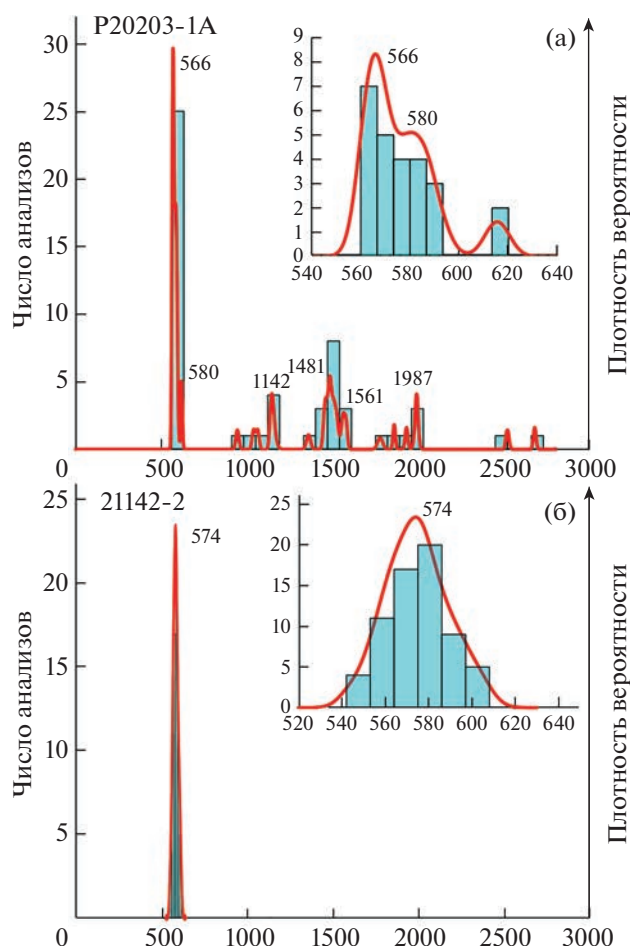


Рис. 5. Гистограммы и кривые плотности вероятности распределения возрастов детритовых и вулканогенных цирконов с детализацией для вендского уровня из туфогенных песчаников басинской свиты восточнее Толпарово, проба P20203-1A (a) и вулканогенных зерен циркона из туфов басинской свиты в разрезе Усть-Катава, проба 21142-2 (б).

Новые данные позволяют более обоснованно коррелировать разрезы венда Башкирского мегантиклинория с разрезами Среднего Урала, для которых имеются U–Pb (La–ICP–MS)-датировки зерен циркона из туфов в диапазоне 567 ± 4 – 564 ± 4 млн лет [3, 4, 7, 12].

Сопоставления с разрезами Среднего Урала и Восточно-Европейской платформы показывают, что основной объем разреза верхнего венда Башкирского мегантиклинория древнее котлинского регионального яруса, с которым эти разрезы сопоставлялись ранее [3, 4, 12].

Наиболее ранние эдиакарские органические остатки, представленные палеопаспихнидами, находятся в разрезе басинской свиты в Усть-Катаве [12] ниже пачки с туфами, имеющими возраст 578 ± 7 и 574 ± 3 млн лет.

Для разрезов басинской свиты Усть-Катава [19] и зиганской свиты на западном крыле Алатауского антиклинория [2] были выявлены признаки гиперактивности магнитного поля, которые от-

носились к возрастному уровню около значения 548 ± 4 млн лет. Новые данные определяют положение этих фрагментов разреза вблизи уровня 578 ± 7 и 566 ± 5 млн лет.

Данные о присутствии в тяжелой фракции терригенных пород из разреза куккараукской свиты фосфатного детрита, интерпретированного как фрагменты раковин брахиопод нижнего кембрия [9], нуждаются в проверке и дополнительной оценке. Вероятно, это фрагменты фосфатных конкреций.

Состав туфов Башкирского антиклинория имеет сходство с туфами перевалокской свиты Среднего Урала, которые также имеют редкометальную геохимическую специализацию [11].

Одновременное присутствие в туфах ашинской серии минералов тяжелой (титаномагнетит, апатит, циркон, биотит) и легкой (полевые шпаты, кварц) фракций указывает на то, что вулканический пепел не разделился на фракции в процессе эолового переноса и вулканы, по-видимому,

находились на незначительном удалении от разрезов с туфами. В пользу близкого расположения вулканических центров свидетельствует также присутствие в разрезе Усть-Катава лапиллиевых туфов.

В настоящее время имеется достаточно оснований для реконструкции в складчатом поясе на юге Урала фрагментов вендского окраинно-континентального вулканоплутонического пояса, который развивался после коллизии островной дуги и пассивной окраины Балтики [14]. В пользу таких построений свидетельствует также состав тонкозернистых терригенных пород ашинской серии, который объясняется присутствием источников обломочного материала, характерных для внутриокеанических островных дуг и активных континентальных окраин, с одной стороны, и пассивных континентальных окраин, с другой стороны [12]. Вулканизм, продуктом которого являются туфы ашинской серии, вероятно характеризует тыловую часть вулканоплутонического пояса, на переходе к задуговому прогибу.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-05-00308, в рамках госзадания ГИН РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беккер Ю. Р. Молассы докембрия. Л.: Недра, 1988. 288 с.
2. Голованова И.В., Данукалов К.Н., Сальманова Р.Ю. и др. Верхневендский период гиперактивности магнитного поля: новые палеомагнитные данные по зиганской свите на Южном Урале // Геологический вестник. 2021. № 1. С. 46–54.
3. Гражданкин Д.В., Маслов А.В. Место венда в международной стратиграфической шкале // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 4. С. 703–717.
4. Гражданкин Д.В., Марусин В.В., Меерт Дж., Крупенин М.Т., Маслов А.В. Котлинский горизонт на Южном Урале // ДАН. 2011. Т. 440. № 2. С. 201–206.
5. Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Горожанин В.М. и др. Основание венда на Южном Урале: Rb-Sr возраст глауконитов бакеевской свиты // Стратиграфия. Геол. Корреляция. 2019. Т. 27, № 5. С. 82–96.
6. Козлов В.И., Синицына З.А., Кулагина Е.И. и др. Путеводитель геологической экскурсии по разрезам палеозоя и верхнего докембрия западного склона Южного Урала и Приуралья. Уфа, 1995. 177 с.
7. Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Крупенин М.Т. и др. Результаты геохронологического и изотопно-геохимического изучения циркона из туфов сыльвицкой серии (западный склон Среднего Урала): к происхождению пепловых прослоев в вендских толщах Восточно-Европейской платформы // ДАН. 2017. Т. 473. № 3. С. 341–345.
8. Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шаццло А.В. и др. Первые результаты массового U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала: палеогеографический и палеотектонический аспекты // ДАН. 2012. Т. 447. № 1. С. 73–79.
9. Кузнецов Н.Б., Шаццло А.В. Первые находки скелетных фоссилий в куккараукской свите ашинской серии Южного Урала и их значение для определения начала протоуральско-тиманской коллизии // ДАН. 2011. Т. 440. № 3. С. 378–383.
10. Маслов А.В. Литогеохимический облик отложений ашинской серии венда западного склона Южного Урала // Литосфера. 2014. № 1. С. 13–32.
11. Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Ронкин Ю.Л. и др. Пепловые туфы в отложениях сыльвицкой серии верхнего венда (Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий, Средний Урал) // Литосфера. 2006. № 3. С. 45–70.
12. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В., Колесников А.В. Верхний венд востока, северо-востока и севера Восточно-Европейской платформы: процессы осадконакопления и эволюция биоты // Литосфера. 2018. 18 (4). С. 520–542.
13. Разумовский А.А., Новиков И.А., Рязанцев А.В. и др. Древнейшие вендские ископаемые Евразии: U-Pb-изотопный возраст басинской свиты (ашинская серия, Южный Урал) // ДАН. 2020. Т. 495. № 2. С. 3–8.
14. Рязанцев А.В., Кузнецов Н.Б., Дегтярев К.Е., и др. Реконструкция венд-кембрийской активной континентальной окраины на Южном Урале по результатам изучения детритовых цирконов из ордовикских терригенных пород // Геотектоника. 2019. Т. 53. № 4. С. 43–59.
15. Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Краснобаев А.А. и др. Ашинская серия венда: орогенный комплекс тиманид на Южном Урале // Геологический вестник. 2019. № 1. С. 3–34.
16. Floyd P.A., Winchester J.A. Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements // Chemical Geology. 1978. V. 21. Iss. 3–4. P. 291–306.
17. Kolesnikov A.V., Bobkov N.I. Revisiting the age of the Asha Group in the South Urals // Estudios Geológicos. 2019. 75 (2): e103.
18. Kolesnikov A.V., Marusin V.V., Nagovitsin K.E., Maslov A.V., Grazhdankin D.V. Ediacaran biota in the aftermath of the Kotlinian Crisis: Asha Group of the South Urals // Precam. Res. 2015. V. 263. P. 59–78.
19. Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., et al. Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: Paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // Prec. Res. 2013. V. 236. P. 16–30.
20. Razumovskiy A.A., Ivantsov A.Yu., Novikov I.A., et al. Kuckaraukia multituberculata: A new Vendian fossil from the Basa Formation of the Asha Group in the South Urals // Paleontol. J. 2015. V. 49. № 5. P. 449–456.

THE AGE OF VOLCANIC TUFFS FROM THE BASU AND ZIGAN FORMATIONS OF THE VENDIAN (EDIACARAN) ASHA GROUP IN THE SOUTHERN URALS: RESULTS OF U–Th–Pb (SIMS and La–ICP–MS) DATING OF ACCESSORY ZIRCON

A. V. Ryazantsev^{a, #}, A. A. Razumovskiy^a, I. A. Novikov^b, A. I. Kurtukova^a, N. A. Kanygina^a,
Yu. V. Yashunskiy^a, A. S. Dubensky^a, and V. S. Sheshukov^a

^a*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: avryazan51@mail.ru*

Presented by Academician of the RAS M.A. Fedonkin August 11, 2022

For accessory zircon from ash tuffs of the Basu and Zigan Fms of the Asha Vendian (Ediacaran) Group of the Southern Urals obtained isotopic U–Pb age (SIMS (SHRIMP II) и La–ICP–MS). The compositions of rare-metal enriched tuffs correspond to rhyolites, comendites, trachytes, trachyandesites. The concordant value of the U–Pb age of zircon from the tuffs of the Basu Formation is 578 ± 7 , 577 ± 7 and 568 ± 5 Ma (SHRIMP II). The age of the zircon from the other two points of the Basu Formation is 573 ± 4 and 574 ± 3 Ma (La–ICP–MS). The age of zircons from the tuffs of the Zigan Formation is 566 ± 5 Ma (SHRIMP II). Tuffs accumulated in the hinterland of the marginal continental volcanic belt.

Keywords: Vend, Ediacaran, Asha group, Basu formation, Zigan formation, volcanic tuffs, Southern Urals, U–Pb age zircon, SHRIMP II, La–ICP–MS