

УДК 551.7

## ДРЕВНЕЙШИЕ ВЕНДСКИЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЕВРАЗИИ: U–Pb-ИЗОТОПНЫЙ ВОЗРАСТ БАСИНСКОЙ СВИТЫ (АШИНСКАЯ СЕРИЯ, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2020 г. А. А. Разумовский<sup>1</sup>, И. А. Новиков<sup>2,\*</sup>, А. В. Рязанцев<sup>1</sup>, С. В. Рудько<sup>1,3</sup>,  
Н. Б. Кузнецов<sup>1,3</sup>, Ю. В. Яшунский<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН М. А. Федонкиным 05.10.2020 г.

Поступило 05.10.2020 г.

После доработки 07.10.2020 г.

Принято к публикации 09.10.2020 г.

Для пепловых туфов из разреза басинской свиты ашинской серии венда Южного Урала U–Th–Pb-методом (SHRIMP II) по аксессуарным цирконам впервые получена датировка изотопного возраста. Конкордантное значение возраста составило  $573.0 \pm 2.3$  млн лет. Эта датировка может быть интерпретирована как верхняя возрастная граница начала тиманского орогенеза в структуре Южного Урала. В породах верхнебасинской подсвиты ранее были обнаружены ископаемые остатки *Kuckaraukia multituberculata*, несколько видов палеопасихнид, относящихся к родам *Palaeopascichnus* и *Orbisiana*, а также впервые в этом подразделении выявлены *Arumberia banksi*. Полученная датировка указывает на более древний возраст этого комплекса ископаемых по сравнению с принятым ранее.

**Ключевые слова:** венд, эдиакарий, ашинская серия, басинская свита, Южный Урал, *Kuckaraukia*, *Arumberia*, *Palaeopascichnus*, *Orbisiana*, U–Pb-возраст

**DOI:** 10.31857/S2686739720120099

Терригенная ашинская серия распространена, преимущественно, в западной части Башкирского мегантиклинория (БМА), где она с параллельным несогласием налегает на верхи рифея (рис. 1) и с параллельным несогласием перекрыта обломочными образованиями такатинской свиты нижнего девона (эмса), реже среднего-верхнего ордовика. Ашинская серия (мощностью от 1400 до 2600 м) расчленена на ряд свит, связанных согласными переходами: толпаровскую, суировскую, бакеевскую, урюкскую, басинскую, куккараукскую, зиганскую и малоямантаускую. Толпаровскую и суировскую свиты рассматривают как стратиграфические аналоги бакеевской или включают в ее разрез в ранге толщ. Породы басинской, куккараукской, зиганской и малоямантауской свит интерпретируются как моласса, связанная с тиманским орогенезом. Куккараукская свита сложена конгломератами и играет роль

маркирующего уровня, разделяющего песчано-алевролитовые разрезы басинской и зиганской свит [1, 2].

В последнее время в разрезах ашинской серии, в разных местах найдены слои и линзы вулканических туфов. До нашего исследования была известна лишь одна датировка единичных кристаллов циркона, извлеченных из туфов, в разрезе у г. Усть-Катав, где отсутствуют маркирующие конгломераты куккараукской свиты. Литологически схожие басинская и зиганская свиты не расчленяются однозначно и возраст цирконов из туфов  $547.6 \pm 3.8$  млн лет [3] различными исследователями интерпретируется как соответствующий басинскому, либо зиганскому времени.

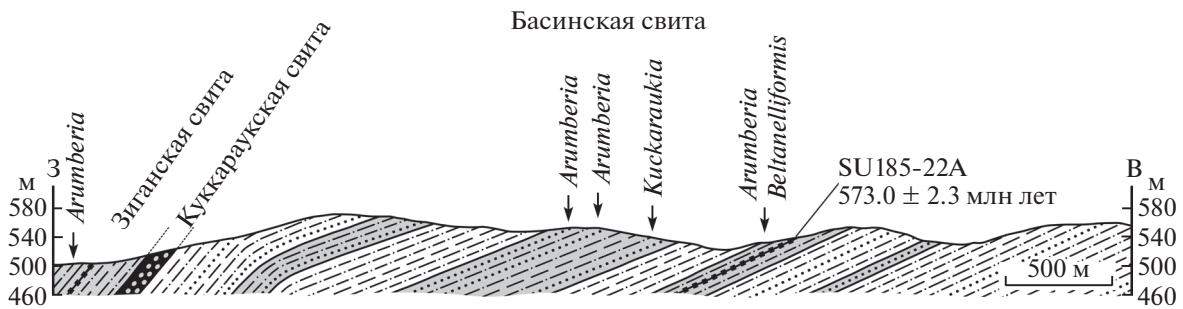
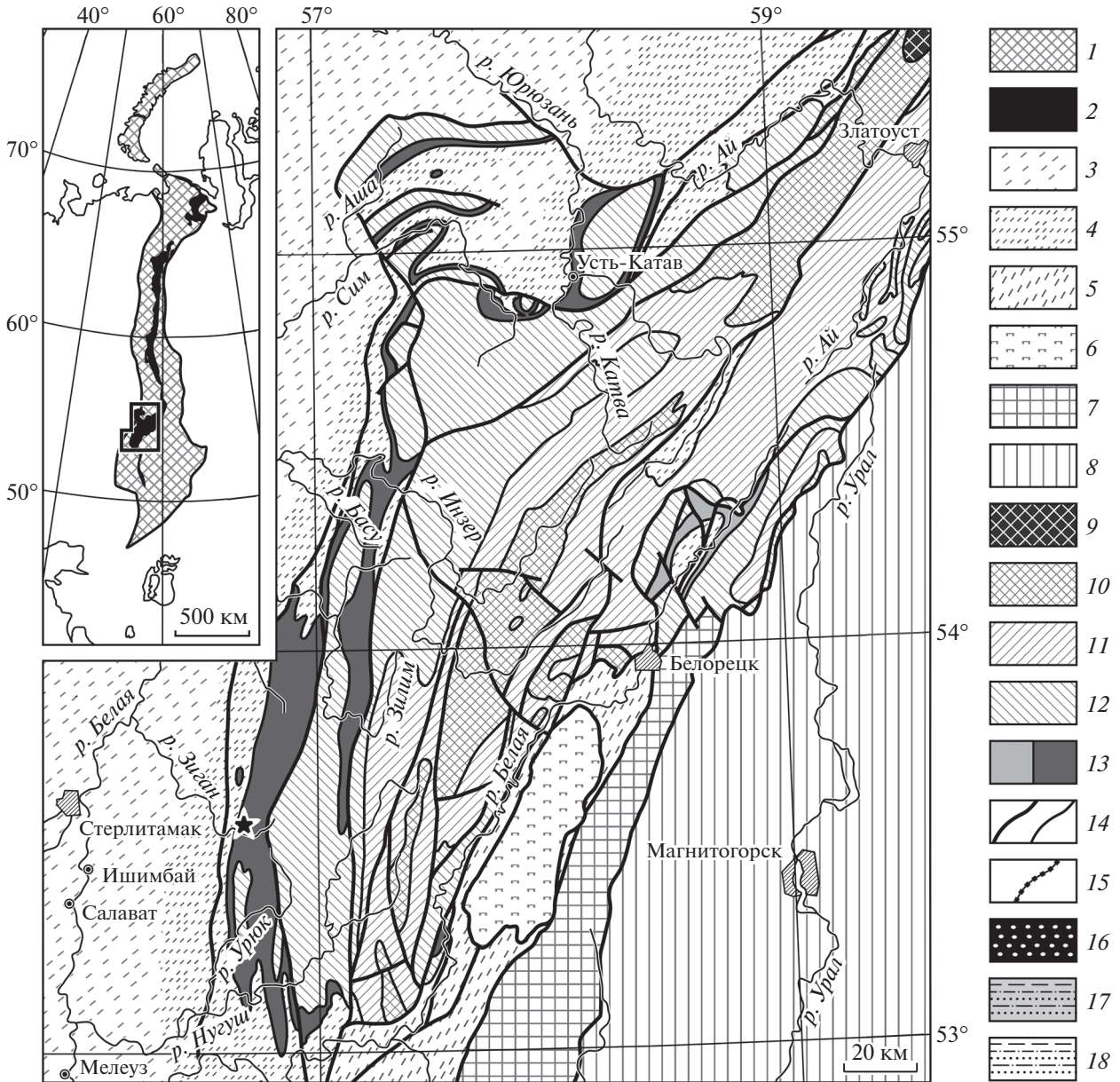
Нами изучен разрез ашинской серии, вскрытый придорожными выемками вдоль шоссе Стерлитамак–Белорецк на новом участке Макарово–Кулгунино. Басинская и зиганская свиты здесь разделены куккараукской свитой (см. рис. 1). Басинская свита слагает пологое крыло складки, падающее под углом  $5^\circ$ – $15^\circ$  в СЗ-румбах и нарушенное редкими малоамплитудными сбросами. В разрезе верхнебасинской подсвиты нами обнаружен линзовидный туфовый прослой мощностью до 7 см, утоняющийся к западу. Основание прослоя сложено тефрой с выдержанным размером частиц – 0.3–0.6 мм (для слюд до 1 мм) без при-

<sup>1</sup> Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт общей физики Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

\*E-mail: ivan.a.novikov@gmail.com



знаков перемыва и сортировки. Минеральный состав кристаллокластов: КПШ >> 40%, биотит и флогопит 15–20%, кислый плагиоклаз 10–15%. Вулканическое стекло полностью замещено агре-

гатом хлоритов, объем которых не превышает 15%. Среди второстепенных и аксессуарных минералов преобладают титаномагнетит, апатит и циркон. Мощность базального слоя тефры не

**Рис. 1.** Положение и основные черты строения изученного разреза басинской свиты. *a* – Структурно-геологическая схема БМА и его обрамления, по [2]. Схематический геологический разрез правобережья верхнего течения р. Зиган. Звездочкой отмечено положение представленного разреза. *b* – Схематический разрез пород ашинской серии, вскрытых в бортах выемки автомобильной дороги Стерлитамак – Белорецк. Положение находок остатков ископаемых организмов указано стрелками. Условные обозначения: 1 – Уральская складчатая область; 2 – Центрально-Уральская зона; 3–5 – палеозойские осадочные комплексы: 3 – восточного края Волго-Уральской антеклизы Русской плиты и Предуралья краевого прогиба, 4 – Западно-Уральской зоны внешней складчатости и Башкирского поднятия, 5 – Зилаирского синклиория; 6 – Кракинский аллохтон; 7 – Уралтауский антиклинорий; 8 – Магнитогорская зона; 9–13 – комплексы БМА: 9 – архейско-раннепротерозойский тараташский комплекс, 10 – комплексы нижнего рифея, 11 – комплексы среднего рифея, 12 – комплексы верхнего рифея, 13: *a* – аршинская серия завершающего рифея, *b* – ашинская серия венда; 14 – границы: *a* – тектонические, *b* – геологические; 15–18 только на разрезе: 15 – прослой пепловых туфов – туфоалевролитов; 16 – конгломераты куккараукской свиты; 17, 18 – песчаники, алевролиты, алевропелиты и аргиллиты басинской и зиганской свит: 17 – обнаженные в дорожных выемках, 18 – не обнаженные.

превышает 4–5 мм. Это пестрая красновато-серая, бежево-серая порода. Вверх она сменяется пластичными зеленовато-серыми туфопелитами, а затем – яркими (фиолетовыми, розоватыми, оранжевыми) щебенчатыми туфоалевролитами, завершающими первый вулканогенно-осадочный ритм мощностью до 4.0 см. Выше повторяется переход пластичных зеленоватых туфопелитов в туфоалевролиты, базальный слой тефры отсутствует, максимальная мощность верхнего ритма 3.5 см. Мы интерпретируем строение туфового прослоя как отражение двух вулканических извержений.

Туф опробован в точке с координатами 53°34.053' с.ш., 56°43.555' в.д. Петро-геохимический состав туфов изучен в ГИН РАН (петрогенные окислы, РФА) и в АСИЦ ИПТМ РАН (редкие и рассеянные элементы, ICP-MS, с автоклавным разложением). Установлено, что туфы по составу соответствуют трахиандезитам – умеренно щелочным ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5\text{--}9\%$ ), высокоглиноземистым ( $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) > 2.5$ ) породам с К-типом щелочности ( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 2\text{--}43$ ). На диаграмме АФМ фигуративные точки составов туфов располагаются в поле пород известково-щелочной серии.

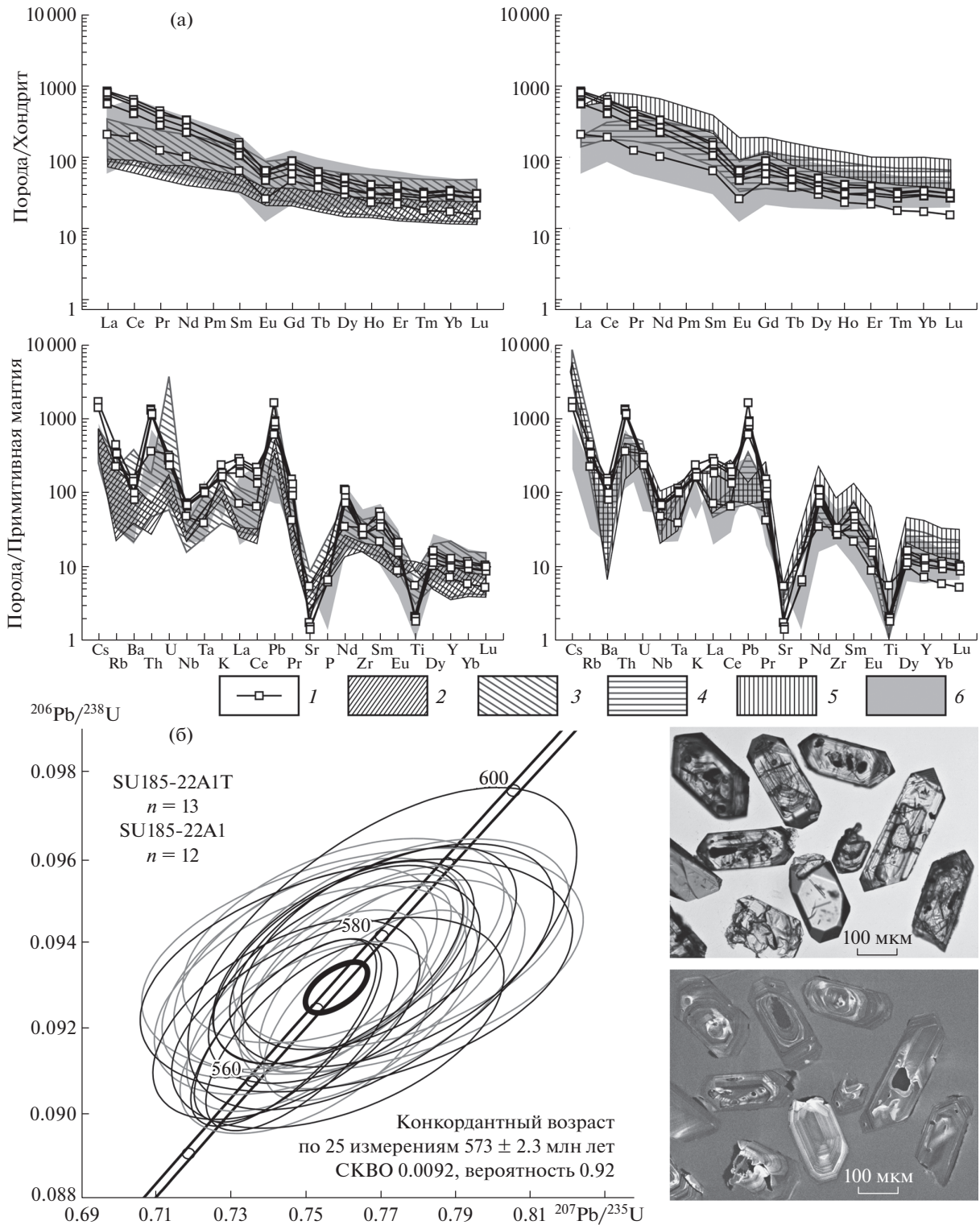
Туфы имеют ярко выраженную редкометалльную геохимическую специализацию. Сумма редких земель в них достигает 929 г/т. При этом содержания La составляют (г/т) 50–201, Ce 117–394, Nd 48–152. Содержания Zr = 335–380 г/т, Nb = 34–52 г/т. Породы имеют фракционированный характер распределения редкоземельных элементов,  $\text{La}_n/\text{Yb}_n = 12\text{--}25$  (рис. 2а). На спайдердиаграммах проявлены Ta–Nb-минимум и слабая отрицательная Eu-аномалия. На дискриминантной геохимической диаграмме Дж. Пирса ( $\text{Th}\text{--}\text{Hf}/3\text{--}\text{Nb}/16$ ) точки составов ложатся в поле пород вулканических дуг. Вероятно, формирование пеплового материала могло происходить в магматической системе тыловой части активной континентальной окраины в условиях задугового рифтогенеза, при плавлении блоков древней континентальной коры. Близкие по возрасту

и стратиграфическому положению туфы распространены в юго-восточном Беломорье [4], на Среднем Урале [5, 6], в Подолии [7] и других частях Русской плиты (см. рис. 2а).

Из базального тефрового слоя была отобрана проба SU185-22A1T весом менее 1 кг, из которой было выделено большое количество кристаллов циркона. Остальные части туфовой линзы отобраны в единую пробу с номером SU185-22A1, весом около 1 кг, из которой также были выделены цирконы. В обеих пробах преобладали удлиненные идиоморфные кристаллы циркона с осцилляторной зональностью и расплавленными включениями (рис. 2б), что указывает на их магматический генезис. Изучение изотопной системы кристаллов циркона проведено в ЦИИ ВСЕГЕИ локальным анализом на микрозонде SIMS SHRIMP-II. Из проб SU185-22A1T и SU185-22A1 было отобрано соответственно 13 и 12 зерен с минимальным количеством трещин, включений и метамиктных зон. По результатам датирования кристаллов циркона из обеих проб (см. рис. 2б, табл. 1) получено значение конкордантного возраста  $573.0 \pm 2.3$  млн лет, при СКВО 0.0092 и вероятности 0.92.

Полученное значение возраста может быть интерпретировано как верхняя возрастная граница времени начала тиманского орогенеза в структуре Южного Урала.

В басинской свите, в изученном и смежных разрезах, ранее были обнаружены ископаемые остатки *Kuckaraukia multituberculata* [8, 2] и несколько видов палеопаспихид, относящихся к родам *Palaeopascichnus* и *Orbisiana* [2], а нами в рамках настоящей работы установлены *Arumberia banksi*. Полученная датировка указывает на более древний возраст описываемого комплекса ископаемых басинской свиты, по сравнению с известными вендскими фоссилиями Евразии, и хронологически сближает их с первыми представителями эдиакарской “фауны” – авалонской биотой из формаций Drook и Briscal п-ова Ньюфаундленд [9].



**Рис. 2.** Некоторые черты вещественного состава и изотопный возраст туфов. *a* – Хондрит-нормализованные спектры РЭЭ и спайдер-диаграммы элементов примесей, нормированных к примитивной мантии для вендских вулканогенных пород. 1 – басинская свита; 2, 3 – сьлвицкая серия Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория по [5]; 2 – старопечнинская свита, 3 – чернокаменная свита; 4, 5 – могилевско-подольская группа Подолии по [6]; 4 – могилевская свита, 5 – ярышевская свита; 6 – ергинская свита (ранее выделявшиеся как ергинская и мельская подсвиты мезенской свиты) Зимнебережного района по [4]. *б* – Результаты изучения цирконов из прослая вулканических туфов басинской свиты на микрозонде SIMS SHRIMP-II. На диаграмме приведены конкордия и эллипсы ошибки ( $2\sigma$ ) измерений. Эллипс жирной линией – результирующая оценка максимального возраста времени образования пород верхнебасинской подсвиты. Микрофотографии типичных зерен циркона из пробы SU185-22A1T: в проходящем свете и изображения интенсивности катодолуминесценции.

**Таблица 1.** U–Pb (SHRIMP) возраст туфогенных кристаллов циркона из пепловых туфов басинской свиты

№ точки анализа	Содержание, ppm			<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	Возраст, млн лет (1)				D %	Изотопные отношения (1)						Err. согг.			
	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> (%)	U	Th		<sup>206</sup> Pb*	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	± млн лет	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb*		± млн лет	<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb*	±%	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb*	±%	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U		±%	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	±%
<i>Проба SU185-22A1</i>																			
01.1	0.06	337	280	27.1	0.86	576.1	5.6	563	32	-2	10.7	1.0	0.05888	1.5	0.759	1.8	0.09348	1.0	0.565
02.1	0.03	660	393	52.1	0.62	567.0	5.2	560	21	-1	10.88	0.95	0.0588	0.98	0.745	1.4	0.09194	0.95	0.695
03.1	0.22	124	67	9.96	0.56	574.6	6.5	582	62	1	10.73	1.2	0.0594	2.8	0.764	3.1	0.0932	1.2	0.386
04.1	0.17	195	204	15.5	1.08	568.1	5.9	594	46	5	10.85	1.1	0.0597	2.1	0.759	2.4	0.0921	1.1	0.457
05.1	0.17	196	115	15.9	0.61	578.3	9.1	587	48	2	10.65	1.6	0.0596	2.2	0.771	2.8	0.0939	1.6	0.596
05.2	0.02	632	318	49.9	0.52	566.7	5.3	558	21	-2	10.88	0.97	0.05874	0.95	0.744	1.4	0.09189	0.97	0.714
06.1	0.11	278	213	22.4	0.79	578.4	5.7	585	36	1	10.65	1.0	0.05947	1.7	0.77	1.9	0.09387	1.0	0.530
07.1	0.06	622	491	49.0	0.82	566.1	5.3	574	22	1	10.90	0.97	0.05919	1.0	0.749	1.4	0.09178	0.97	0.696
08.1	0.07	243	131	19.4	0.56	573.7	5.7	577	36	1	10.74	1.0	0.05926	1.6	0.76	1.9	0.09307	1.0	0.532
09.1	0.07	258	152	20.4	0.61	568.5	5.6	553	36	-3	10.85	1.0	0.05861	1.7	0.745	2	0.0922	1.0	0.529
10.1	0.06	255	158	20.5	0.64	576.4	5.7	565	34	-2	10.69	1.0	0.05895	1.6	0.76	1.9	0.09353	1.0	0.551
11.1	0.00	134	96	10.8	0.73	577.3	6.3	598	43	4	10.67	1.1	0.0598	2.0	0.773	2.3	0.0937	1.1	0.497
<i>Проба SU185-22A1T</i>																			
01.1	0.35	167	146	13.5	0.90	576.6	6.4	579	64	0	10.69	1.2	0.0593	2.9	0.765	3.1	0.0936	1.2	0.366
02.1	0.17	458	247	36.2	0.56	566	5.4	578	33	2	10.90	1.0	0.0593	1.5	0.75	1.8	0.09178	10.0	0.543
02.2	0.00	501	403	39.8	0.83	570.5	5.4	610	25	7	10.81	0.98	0.06017	1.2	0.768	1.5	0.09252	0.98	0.647
03.1	0.15	242	184	19.3	0.79	572.6	5.9	555	44	-3	10.77	1.1	0.0587	2.0	0.751	2.3	0.09289	1.1	0.474
04.1	0.13	331	302	26.6	0.94	576.2	5.9	549	40	-5	10.69	1.1	0.0585	1.8	0.754	2.1	0.0935	1.1	0.508
05.1	0.13	281	188	22.5	0.69	575.4	5.8	592	36	3	10.71	1.1	0.05967	1.7	0.768	2.0	0.09337	1.1	0.537
06.1	0.00	193	144	15.5	0.77	574.9	5.9	537	37	-7	10.72	1.1	0.0582	1.7	0.749	2.0	0.0933	1.1	0.535
08.1	0.25	263	167	21.3	0.66	579.4	5.7	553	45	-4	10.63	1.0	0.0586	2.1	0.76	2.3	0.09405	1.0	0.450
09.2	0.12	275	99	22	0.37	573.4	5.9	606	37	6	10.75	1.1	0.0601	1.7	0.771	2.0	0.09302	1.1	0.530
10.1	0.04	328	469	26.1	1.48	569.7	5.7	564	31	-1	10.82	1.0	0.05891	1.4	0.751	1.7	0.09241	1.0	0.595
10.2	0.23	225	258	18.2	1.19	579.1	5.9	599	46	3	10.64	1.1	0.0599	2.1	0.776	2.4	0.09399	1.1	0.449
11.1	0.02	634	446	50.7	0.73	574.1	5.2	583	21	2	10.74	0.96	0.05944	0.98	0.763	1.4	0.09315	0.96	0.697
12.1	0.00	397	235	31.9	0.61	575.2	5.5	578	27	0	10.71	0.99	0.05929	1.2	0.763	1.6	0.09333	0.99	0.628

Примечание: погрешность измерения 1σ; Pb<sub>c</sub> и Pb\* – общий и радиогенный свинец; (1) – значения, вычисленные с учетом коррекции по измеряемому <sup>204</sup>Pb; Err. согг – коэффициент корреляции. Погрешность калибровки стандартов: 0.32; D – дискордантность.

**БЛАГОДАРНОСТИ**

В полевых исследованиях принимал участие И.В. Чеботарь (РДКБ ФГБОУ ВО РНИМУ) и Д.С. Шваков (ООО “МД ВИЖН”), в процессе подготовки данной работы вопросы изотопной геохронологии обсуждались с А.Б. Кузьмичевым (ГИН РАН), а палеонтологические аспекты с А.Ю. Иванцовым

(ПИН РАН), всем им авторы выражают свою искреннюю благодарность.

**ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ**

Аналитические данные получены при поддержке РФФИ (грант № 20-05-00308). Обработка аналитиче-



ских результатов проведена при поддержке МИНОБР-НАУКИ РФ (мегагрант № 075-15-2019-1883). Исследования соответствуют темам госзадания ГИН РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа. ДизайнПолиграф-Сервис. 2010. 280 с.
2. Иванцов А.Ю., Разумовский А.А., Закревская М.А. Макрофоссилии верхнего венда Восточной Европы. Средний и Южный Урал. Ред. А.Ю. Иванцов. М.: ПИН РАН, 2018. 190 с.
3. Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., et al. // Precambrian Res. 2013. V. 236. P. 16–30.
4. Шукин В.С., Саблуков С.М., Саблукова Л.И. и др. Поздневендский аэральный щелочной вулканизм рифтогенного типа в зимне-бережном кимберлитовом районе (Архангельская алмазоносная провинция) // Глубинный магматизм, магматические источники и проблемы плюмов. Тр. Межд. Сов. Иркутск. Изд-во ИрГТУ. 2002. С. 151–165.
5. Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Ронкин Ю.Л. и др. // Литосфера. 2006. № 3. С. 45–70.
6. Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Крупенин М.Т. и др. // ДАН. 2017. Т. 473. № 3. С. 341–345.
7. Soldatenko Y., El Albani A., Ruzina M., et al. Precise U–Pb Age Constrains on the Ediacaran Biota in Podolia, East European Platform, Ukraine // Scientific reports. Nature Publishing Group. 2019. No 9. Article number: 1675.
8. Razumovskiy A.A., Ivantsov A.Y., 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. P. 449–456.
9. Narbonne G.M., Xiao S., Shields G.A. The Ediacaran Period (Chapter 18) // The geologic time scale. Eds.: F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G. M. Ogg. Oxford: Elsevier. 2012. P. 413–435.

## THE OLDEST VENDIAN (EDIACARAN) FOSSILS OF EURASIA: U–Pb ISOTOPE AGE OF THE BASA FORMATION (ASHA GROUP, SOUTHERN URALS)

A. A. Razumovskiy<sup>a</sup>, I. A. Novikov<sup>b,#</sup>, A. V. Ryazantsev<sup>a</sup>, S. V. Rud'ko<sup>a,c</sup>,  
N. B. Kuznetsov<sup>a,c</sup>, and Yu. V. Yashunskiy<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>b</sup> Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>c</sup> Institute of the Earth's Crust, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

<sup>#</sup> E-mail: ivan.a.novikov@gmail.com

Presented by Academician of the RAS M.A. Fedonkin October 5, 2020

The isotopic dating results for the ash tuffs from a section of the Basa formation of the Asha Group of the Vendian (Ediacaran) of the Southern Urals were acquired for the first time using the U–Th–Pb data (SHRIMP II) from accessory zircons. The concordant age was  $573.0 \pm 2.3$  Ma. The dating can be interpreted as the upper age limit of the beginning of the Timan orogeny in the structure of the Southern Urals. Earlier, the rocks of the Upper Basa subformation had been found to contain fossil remains of *Kuckaraukia multituberculata*, several paleopascichnids belonging to the genera *Palaeopascichnus* and *Orbisiana*, and *Arumberia banksi* were described for the first time. The obtained dating results indicate that the age of these fossils is greater than previously accepted.

**Keywords:** Vendian, Ediacaran, Asha Group, Basa Formation, Southern Urals, *Kuckaraukia*, *Arumberia*, *Palaeopascichnus*, *Orbisiana*, U–Pb age