

УДК 549.755.241(470.5)

DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-6-884-893

## Новые U-Pb изотопные данные для циркона из риолита Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал)

М. Е. Притчин, Е. И. Сорока, В. Н. Пучков

Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,  
e-mails: pritchin@igg.uran.ru; soroka@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 26.01.2021 г., принята к печати 10.08.2021 г.

**Объект исследований.** Цирконы из риолита Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал). Впервые получены результаты U-Pb датирования для циркона из риолита рудовмещающего комплекса Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал). В рудовмещающий комплекс входят вулканогенные породы андезит-риодацитового состава, локализованные на южном окончании Режевской структурно-формационной зоны Восточно-Уральской мегазоны. Вулканогенные породы отнесены к базальт-риолитовой формации среднего девона либо к базальт-андезит-дацит-риолитовой формации нижнего-среднего девона. Опубликованные данные по возрасту вулканогенно-осадочных пород на основе находок ископаемой фауны относят их к раннему-среднему девону. **Цель исследований.** Для уточнения возраста вулканогенной составляющей рудовмещающей вулканогенно-осадочной толщи Сафьяновского медноколчеданного месторождения была изучена изотопная систематика циркона по 13 кристаллам, отобраным из риолита, вскрытого в восточном борту Сафьяновского карьера. Риолиты по химическому составу относятся к крайнему ряду кремнекислых разновидностей пород субвулканической фации. **Методы и результаты.** Основой исследований стали радиоизотопные отношения U и Pb, полученные на 5-коллекторном масс-спектрометре высокого разрешения с возбуждением вторичных ионов SHRIMP-II (ASI, Австралия) во ВСЕГЕИ. Были получены U-Pb данные, определившие на графике с конкордией возраст  $422.8 \pm 3.7$  млн лет. **Выводы.** Ранее проведенное U-Pb датирование циркона, отобранного из линзовидных тел андезитов, дало возраст  $422.8 \pm 2.0$  млн лет, что соответствует пржидольскому отделу верхнего силура. Установлено, что среди рудовмещающих пород Сафьяновского месторождения находятся эффузивные образования верхнего силура.

**Ключевые слова:** Сафьяновское Cu-Zn месторождение, вулканогенно-осадочные породы рудовмещающей толщи, риолит, андезит, цирконы

### Источник финансирования

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН, тема № АААА-А18-118052590028-9 с использованием оборудования ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН. Дооснащение и комплексное развитие ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН осуществляется при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2021-680

## Novel U-Pb isotopic zircon data on the rhyolite of the Saf'yanovskoe Cu-Zn deposit (Middle Urals)

Mikhail E. Prytchin, Elena I. Soroka, Viktor N. Puchkov

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st.,  
Ekaterinburg 620110, Russia, e-mails: pritchin@igg.uran.ru; soroka@igg.uran.ru

Received 26.01.2021, accepted 10.08.2021

**Research subject.** Zircons from the Saf'yanovskoe Cu-Zn deposit rhyolite (Middle Urals). For the first time, zircon U-Pb dating for the rhyolite of the ore-bearing volcanic-sedimentary rocks of the Saf'yanovskoe deposit was performed. The volcanites are characterized by an andesite-rhyodacite composition and are localized at the southern edge of the Rezhevskaya structural-formation zone (SFZ) of the Eastern Ural megazone. A number of publications assign these rocks either to the basalt-rhyolite formation of the Middle Devonian, or to the basalt-andesite-dacite-rhyolite formation of the Lower-Middle Devonian. **Aim.** To estimate the age of the ore-bearing volcanic rocks under study using the U-Pb SHRIMP-II isotop-

**Для цитирования:** Притчин М.Е., Сорока Е.И., Пучков В.Н. (2021) Новые U-Pb изотопные данные для циркона из риолита Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал). *Литосфера*, 21(6), 884-893. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-6-884-893>

**For citation:** Prytchin M.E., Soroka E.I., Puchkov V.N. (2021) Novel U-Pb isotopic zircon data on the rhyolite of the Saf'yanovskoe Cu-Zn deposit (Middle Urals). *Lithosphere (Russia)*, 21(6), 884-893. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-6-884-893>

© М.Е. Притчин, Е.И. Сорока, В.Н. Пучков, 2021

ic system of zircon from the rhyolite of the eastern side of the Saf'yanovskoe deposit. By its chemical composition, the rhyolite belongs to the silicic varieties of subvolcanic rocks. *Methods and results.* The U-Pb isotopic system of zircon was studied by 5-collector mass-spectrometer of high precision and emission of the secondary ions SHRIMP-II (ASI, Australia) in the VSEGEI Institute. U-Pb relations were investigated by a procedure developed by I.S. Williams. The U-Pb data obtained based on 13 zircon grains showed the age of  $422.8 \pm 3.7$  Ma. *Conclusions.* The U-Pb dating of zircon obtained previously from the lens-shaped andesite bodies of the western side of the Saf'yanovskoe deposit gave the age of 422.8 Ma, which corresponds to the Przydoli series epoch of the Upper Silurian. We established that, among the volcanic rocks of the Saf'yanovskoe deposit, the effusive formations of the Upper Silurian are present.

**Keywords:** Saf'yanovskoe Cu-Zn deposit, volcanic-sedimentary ore-bearing rocks, rhyolite, andesite, zircons

#### Funding information

The studies were carried out as part of the IGG UB RAS state assignment (state registration No. AAAA-A18-118052590032-6) using the facilities of the "Geoanalitik" analytical centre of the IGG UB RAS. The upgrading and development of the "Geoanalitik" analytical centre is financially supported by the grant of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement No. 075-15-2021-680)

#### Acknowledgements

The authors express gratitude to the chief geologist N.V. Leshchev and the staff of "Saf'yanmed'" for their help in conducting field work. We are deeply grateful to Dr. [A.A. Krasnobaev] for his valuable recommendations.

## ВВЕДЕНИЕ

Сафьяновское медно-цинковое колчеданное месторождение, крупнейшее по запасам и добыче на Среднем Урале, находится в 90 км к северо-востоку от Екатеринбурга, в 10 км восточнее г. Реж (рис. 1). В настоящее время, по достижению проектной глубины 200 м Сафьяновского карьера, которым отрабатывалось главное рудное тело, ведется подземная отработка месторождения до проектной глубины 500 м. Более половины запасов месторождения представлено прожилково-вкрапленными рудами пирит-халькопирит-сфалеритового состава.

Месторождение приурочено к комплексу измененных вулканогенных-осадочных пород на южном окончании Режевской структурно-формационной зоны (СФЗ) Восточно-Уральской мегазоны Среднего Урала (Коровко, Двоглазов, 1991). Геологическое строение СФЗ характеризуется наличием серии дислокаций надвигового характера, сформировавших пространственную ассоциацию тектонически совмещенных разноформационных, разновозрастных комплексов терригенного и вулканогенного состава (Язева и др., 1992; Кисин, 2009).

Вулканогенные породы рудовмещающего комплекса относят к базальт-риолитовой формации среднего девона (Коровко и др., 1999) либо к базальт-андезит-дацит-риолитовой формации нижнего-среднего девона (Смирнов, 2012). Имеются фаунистические датировки ранне-средне-девонского возраста, которые относятся как к вулканогенно-осадочным породам толщи (Пучков и др., 1990; Коровко и др., 1999; Чувашов и др., 2011), так и к известнякам (Амон, Коровко, 1992; Анфимов и др., 2015).

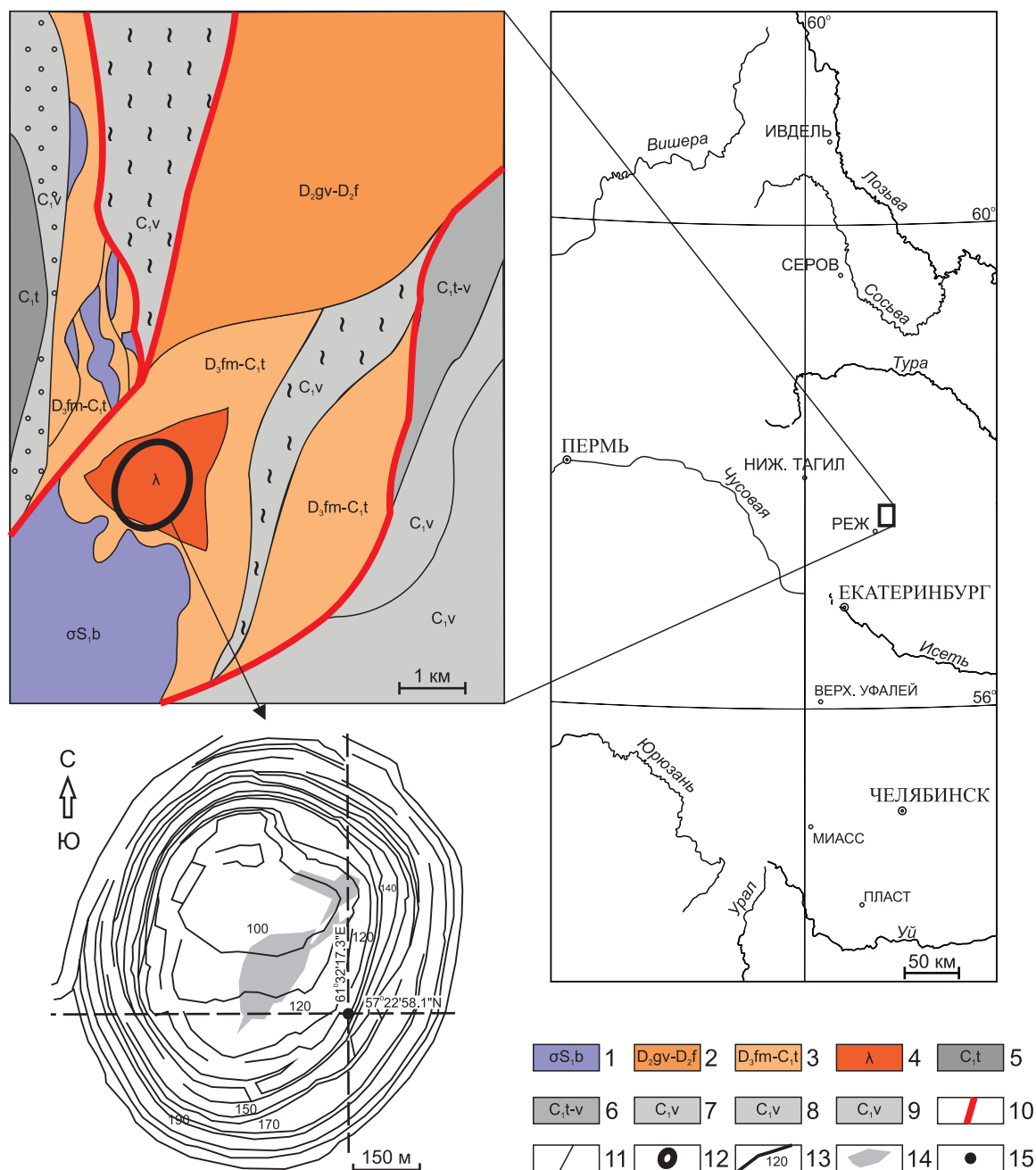
До сих пор не было датировок собственно вулканогенных пород Сафьяновского месторождения,

что, на наш взгляд, требует дополнительного уточнения генезиса и времени образования вулканогенной части разреза.

## МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для уточнения возраста вулканогенных пород рудовмещающей толщи месторождения в ЦИИ ФГУП "ВСЕГЕИ" была изучена U-Pb изотопная систематика циркона на 5-коллекторном масс-спектрометре высокого разрешения с возбуждением вторичных ионов SHRIMP-II (ASI, Австралия). Измерения U-Pb отношений проводятся по принятой в ЦИИ ФГУП "ВСЕГЕИ" схеме, описанной в работе (Williams, 1998). Интенсивность первичного пучка молекулярного кислорода составляет 4 нА, размер кратера пробоотбора  $20 \times 25$  мкм при глубине до 2 мкм. Обработка полученных данных осуществлялась с помощью программы SQUID (Ludwig, 2001). Для цирконов U-Pb отношения нормализуются по значению 0.0668, приписанному стандартному циркону TEMORA (Black et al., 2003), что соответствует возрасту этого циркона  $416.75 \pm 0.24$  млн лет. Стандарт циркона 91500 с содержанием урана 81.2 г/т и возрастом по  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  в 1062 млн лет (Wiedenbeck et al., 1995) используется как концентрационный стандарт. Растровая одномоментная очистка прямоугольного ( $50 \times 65$  мкм) участка минерала перед датированием позволяет минимизировать поверхностное загрязнение.

Цирконы были отобраны из риолита, вскрытого в восточном борту Сафьяновского карьера на горизонте 130 м (счет от забоя карьера). Риолиты, представляющие субвулканическую фацию, по химическому составу относятся к крайнему ряду крем-



**Рис. 1.** Географическое положение, геологическая карта Сафьяновского рудного поля, по (Шереметьев, 1990) и план Сафьяновского карьера.

1 – лерцолиты, верлиты баженовского комплекса; 2 – глинистая толща: базальты, андезит-базальты, их туфы, известняки; 3, 4 – Сафьяновская толща: 3 – базальты, андезит-базальты, андезиты, их туфы, 4 – риодациты, риолиты их туфы, андезиты; 5 – известняки органогенно-детритовые; 6 – известняки; 7 – известняки битуминозные органогенно-детритовые; 8 – песчаники, алевролиты, углеродистые алевропелиты; 9 – песчаники, алевролиты с прослоями конгломератов; 10 – основные разрывные нарушения; 11 – второстепенные разрывные нарушения; 12 – контур карьера; 13 – горизонты отработки; 14 – рудное тело; 15 – точка отбора пробы.

**Fig. 1.** Geographical location, geological map of the Saf'yanovskoe ore field by (Sheremet'ev, 1990) and the Saf'yanovskii mining quarry scheme.

1 – lherzolites, wehrlites of the Bazhenovskii complex; 2 – Glinskaya series: basalts, andesite-basalts, tuffs, limestones; 3, 4 – Saf'yanovskaya series: 3 – basalts, andesite-basalts, tuffs, 4 – rhyodacites, rhyolites, tuffs, andesites; 5 – organic detrital limestones; 6 – limestones; 7 – bituminous organic detrital limestones; 8 – sandstones, siltstones, carbonaceous aleuropelites; 9 – sandstones, siltstones with conglomerate layers; 10 – the main faults; 11 – the secondary faults; 12 – quarry contour; 13 – mining contours; 14 – ore bodies; 15 – samples.



некислых разновидностей нормальной щелочности с содержанием  $\text{SiO}_2$  70–75% и суммой щелочей (Na + K) до 6.5% (Грабежев, 2004). Это порода светло-серого цвета, имеет массивную порфировую структуру и реликтовую фельзитовую текстуру (рис. 2).

Порфировые вкрапленники составляют 15–20% объема породы и представлены короткопризматическими кристаллами пелитизированного альбита и корродированного кварца размером до 3 мм. Основная масса перекристаллизована и представлена кварцем, плагиоклазом, хлоритом. Помимо новообразованных минералов основной массы около 1% площади шлифа занимает карбонат, представленный железистым магнезитом, замещающим некоторые зерна альбита, выполняющим микротрещины и, реже, присутствующим в основной массе.

Цирконы представлены изометричными индивидами размером более 300 мкм, имеющими определенно проявленную осцилляционную зональность (рис. 3).

По 13 кристаллам были получены U-Pb данные (табл. 1), определившие на графике с конкордией возраст  $422.8 \pm 3.7$  млн лет (см. рис. 3). Кристаллы имеют секториальное строение с четкими границами пирамид роста. Сопоставление соотношений U и Th в цирконах (см. табл. 1, рис. 4) отвечает единому тренду образования их генераций при постепенном снижении в них содержания U и Th от центра кристалла к периферии, что свидетельствует об их магматическом происхождении (Краснобаев и др., 2012).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Опубликованные данные по возрасту вулканогенно-осадочных пород рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения на основе находок ископаемой фауны относят их к раннему-среднему девону. Севернее Сафьяновского карьера в обнажениях вулканогенно-осадочных пород на р. Реж были сделаны находки конодонтов, которые позволили датировать породы как раннедевонские (Пучков и др., 1990). На южном фланге Сафьяновского рудного поля из пачки туфоалевролитов, туфопесчаников, глинисто-кремнистых пород с рудокластами (до 1.0–1.6 см) серного колчедана и обломками риолитов, дацитов, туффитов, туфоалевролитов и базальтов были выделены конодонты (Коровко и др., 1999), руководящие для среднего локхова D<sub>1</sub>. В углеродисто-кремнистых породах рудовмещающей толщи, вскрытых Сафьяновским рудером, были описаны кремнисто-апатитовые раковины, по морфологии похожие на среднедевонский вид *Parathuramina tamarae* L. Petrova, 1981 (Чувашов и др., 2011). В известняках, вскрытых на юго-западном фланге месторождения горной выработкой (на глубине 285 м), были описаны карбонатные фораминиферы *Parathuramina magna*, *P. elegans*, *P. paulis*, *P. devonica*, *Eotuberitina reitlingerae*, *Cribrisphaeroides* sp., *Irregularina* sp., *Irregularina morphia*, *tchislavkaensis*, *Calcisphaera* sp., *Auroria ferganensis*. Их возраст соответствует лангурскому и высотинскому горизонтам (верхняя часть эйфельского – нижняя часть живетского ярусов) (Амон, Коровко, 1992; Анфимов и др., 2015).

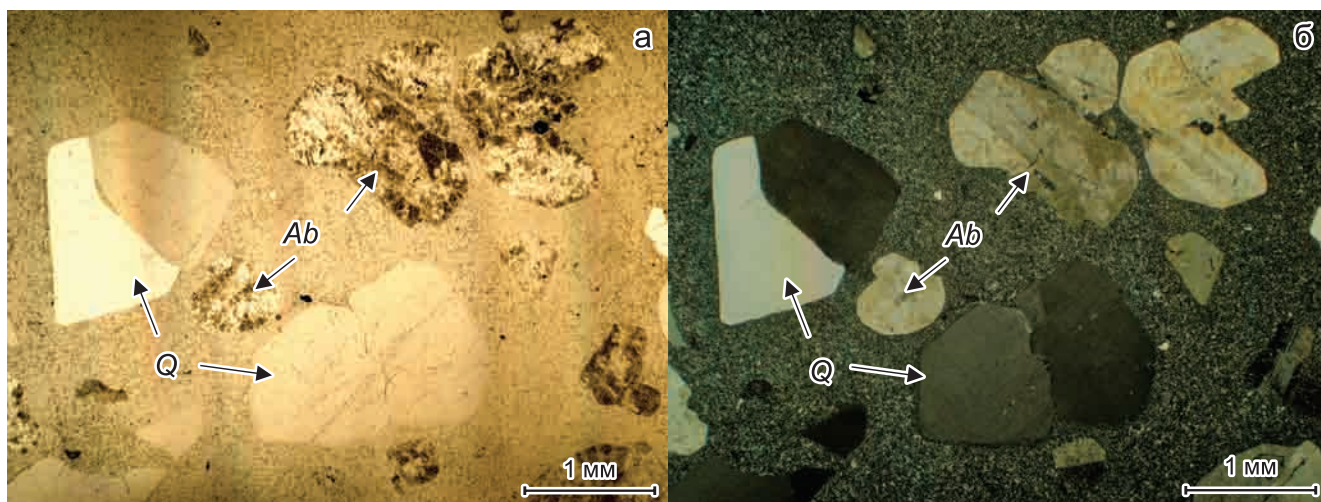
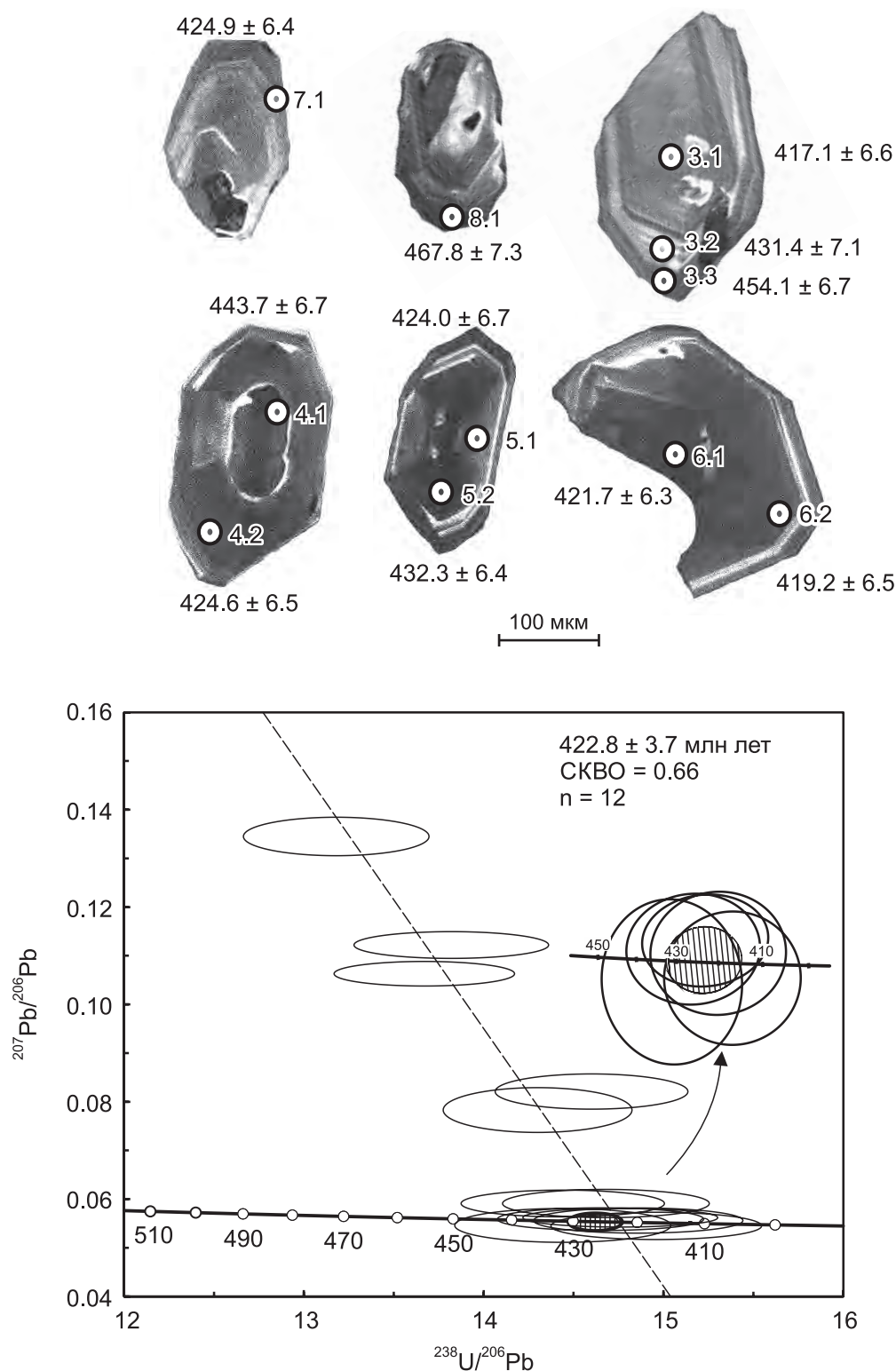


Рис. 2. Микрофотография шлифа риолита (обр. 44).

а – в проходящем свете, б – в поляризованном свете. Q – кварц, Ab – альбит.

Fig. 2. Microphoto of rhyolite thin section (sample 44).

а – in vertical light, б – in polarized light. Q – quartz, Ab – albite.



**Рис. 3.** Изотопные отношения  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  с конкордией в цирконах из риолита Сафьяновского месторождения (обр. 44).

$T = 422.8 \pm 3.7$  млн лет,  $\text{СКВО} = 0.66$ . Числа у кристаллов – возраст по  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ .

**Fig. 3.** Isotopic  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  with concordia in zircons of a rhyolite of the Saf'yanovskoe deposit (sample 44). Concordia,  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  age =  $422.8 \pm 3.7$  Ma, MSWD = 0.66. Figures near zircon grains – means of  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  age.

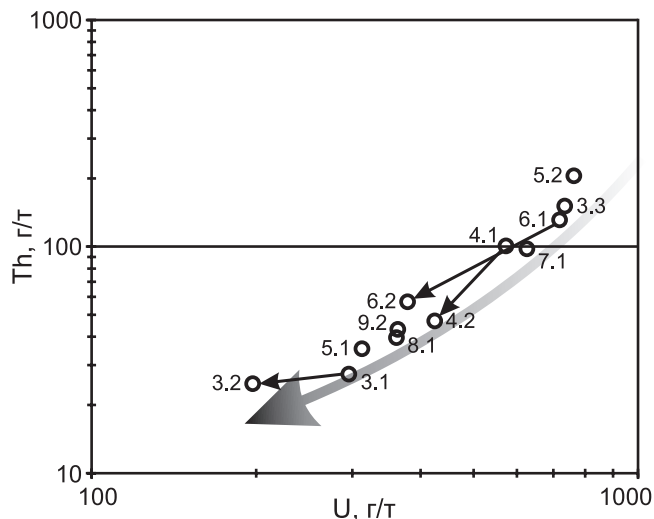
Таблица 1. Результаты изотопного U-Pb,  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  изучения цирконов из риолита Сафьяновского месторождения

Table 1. The results of an isotopic U-Pb and  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  study of zircons from a rhyolite of the Saf'yanovskoe deposit

Крист. кратер	$^{206}\text{Pb}_c$ , %	Содержание, г/г			$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст, млн лет	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст, млн лет	D, %	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm \%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm \%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm \%$	Rh <sub>o</sub>
		U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$								
2.1	1.14	75	48	3.87	5.64	370.6 ± 6.5	167 ± 210	-55	0.0494 ± 9.1	0.403 ± 9.3	0.0592 ± 1.8	0.196
3.1	0.00	296	27	17	0.65	417.1 ± 6.6	393 ± 48	-6	0.0545 ± 2.1	0.503 ± 2.7	0.0668 ± 1.6	0.607
6.2	0.14	379	57	21.9	0.10	419.2 ± 6.5	393 ± 48	-6	0.0545 ± 2.1	0.505 ± 2.7	0.0672 ± 1.6	0.599
6.1	0.20	718	131	41.8	0.16	421.7 ± 6.3	394 ± 40	-7	0.0545 ± 1.8	0.508 ± 2.3	0.0676 ± 1.5	0.659
5.1	0.19	312	35	18.3	0.19	424.0 ± 6.7	513 ± 54	21	0.0576 ± 2.5	0.540 ± 3.0	0.0680 ± 1.6	0.552
4.2	0.26	425	47	24.9	0.12	424.6 ± 6.5	362 ± 54	-15	0.0538 ± 2.4	0.505 ± 2.9	0.0681 ± 1.6	0.551
7.1	0.54	626	98	36.8	0.11	424.9 ± 6.4	1142 ± 46	169	0.0778 ± 2.3	0.731 ± 2.8	0.0681 ± 1.6	0.561
9.2	0.33	363	43	21.6	0.16	430.4 ± 6.7	469 ± 57	9	0.0564 ± 2.6	0.537 ± 3.0	0.0690 ± 1.6	0.532
3.2	0.09	197	25	11.7	0.12	431.4 ± 7.1	368 ± 61	-15	0.0539 ± 2.7	0.515 ± 3.2	0.0692 ± 1.7	0.531
5.2	0.82	763	205	45.9	0.13	432.3 ± 6.4	982 ± 62	127	0.0718 ± 3.0	0.687 ± 3.4	0.0694 ± 1.5	0.454
4.1	1.56	573	101	35.6	0.28	443.7 ± 6.7	1630 ± 42	267	0.1003 ± 2.2	0.985 ± 2.7	0.0712 ± 1.6	0.576
3.3	0.19	734	151	46.1	0.18	454.1 ± 6.7	1712 ± 20	277	0.1048 ± 1.1	1.055 ± 1.9	0.0730 ± 1.5	0.816
8.1	0.82	362	40	23.6	0.21	467.8 ± 7.3	2077 ± 30	344	0.1285 ± 1.7	1.333 ± 2.4	0.0753 ± 1.6	0.684

Примечание. Погрешность  $\pm 1\sigma$ , Pb<sub>c</sub> и Pb\* – общий и радиогенный свинец соответственно. Погрешность калибровки стандарта 0.42%. Коррекция по  $^{204}\text{Pb}$ . D – дискордантность. Rh<sub>o</sub> – коэффициент корреляции.

Note. Error  $\pm 1\sigma$ , Pb<sub>c</sub> and Pb\* – total and radiogenic lead respectively. Standard calibration error 0.42%. Correction by  $^{204}\text{Pb}$ . D – discordance. Rh<sub>o</sub> – correlation coefficient.



**Рис. 4.** Отношение U и Th в цирконах из риолита Сафьяновского месторождения (обр. 44).

Числа у точек – номера кристаллов (см. табл. 1), стрелками соединены ранние и поздние генерации циркона.

**Fig. 4.** U, Th relation in zircons of a rhyolite of the Saf'yanovskoe deposit (sample 44).

Figures near the points – number of zircon grain (see Table 1), the arrows show an earlier and lower generations of zircon.

Однако первое U-Pb датирование циркона, отобранного из линзовидных тел андезитов западного борта Сафьяновского карьера, дало возраст  $422.8 \pm \pm 2.0$  млн лет (Ронкин и др., 2016). В данной статье представлена U-Pb датировка возраста, полученная по 13 кристаллам циркона из риолита рудовмещающей толщи месторождения (см. табл. 1), определившая на графике с конкордией возраст  $422.8 \pm \pm 3.7$  млн лет (см. рис. 3), что соответствует пржидольскому отделу верхнего силура. Таким образом, установлено, что среди рудовмещающих пород Сафьяновского месторождения находятся эффузивные образования верхнего силура. С одной стороны, может показаться, что радиоизотопные определения возраста вулканитов Сафьяновского месторождения (верхний силур) противоречат приведенным палеонтологическим данным (нижний и средний девон), но, возможно, эти датировки отвечают разным уровням разреза рудовмещающей толщи. С другой стороны, имеет место значительный временной интервал в формировании вулканогенного и вулканогенно-осадочного разреза. Обращает на себя внимание геологическая позиция Сафьяновского месторождения – оно находится в наиболее древних породах крупного горста в пределах Режевской структурно-формационной зоны (Кисин, 2009).

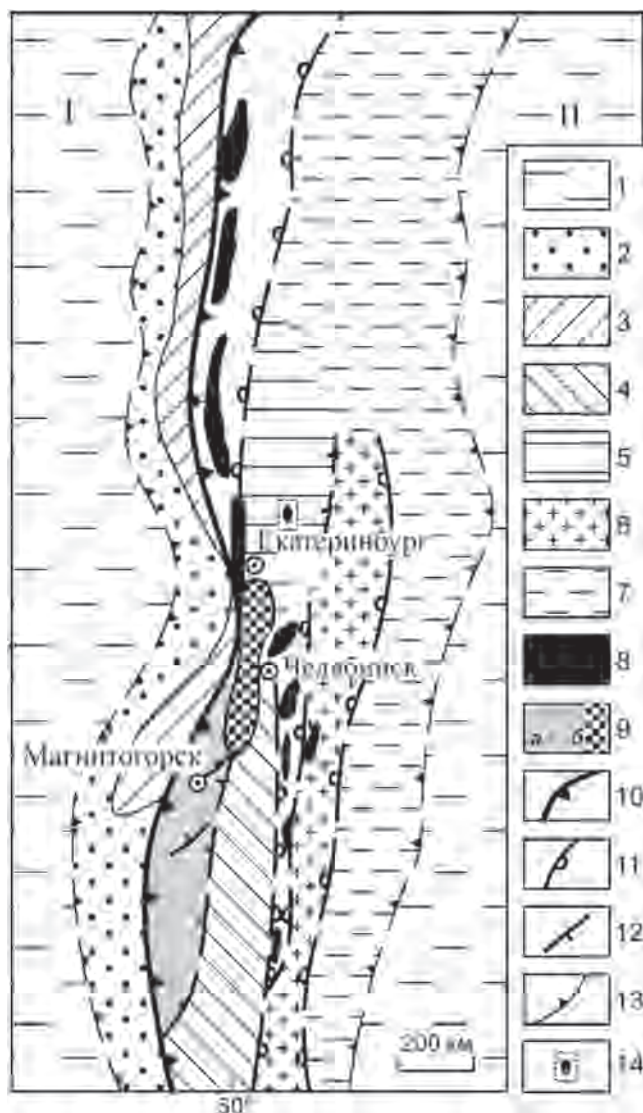
На Севере Урала вулканиты силура относятся к островодужным сериям завершающего субще-

лочного вулканизма (Язева и др., 1992). Ранее силурийские вулканогенные комплексы в составе Восточно-Уральской мегазоны на Среднем Урале были описаны в работе (Коротеев и др., 1979). Кроме того, блоки силурийских вулканогенных комплексов достоверно установлены в Алапаевско-Теченском и Сысертско-Арамилском районах Восточно-Уральской фациальной зоны. Они представлены потоками базальтов, андезито-базальтов и андезитов, риолито-дацитовыми пепловыми туфами и туффитами межеской толщи нижнего силура, обнаженных на реках Багаряк и Исеть в районе г. Каменск-Уральский и относящихся к К-На базальт-андезит-риолитовой формации. На Южном Урале блоки силурийских островодужных вулканогенных комплексов достоверно установлены в Уйско-Увельском и Варненском районах, в окрестностях г. Челябинск (венлок-лудловский мичуринский эффузивный комплекс) и на юге Челябинской области в бассейне р. Карталы-Аят (катенинский комплекс). Известково-щелочные вулканиты силурийского возраста, широко развитые в Тагильской зоне (именновская свита), прослеживаются и на Южном Урале, к востоку от линии Челябинск–Екатеринбург (рис. 5, черные фрагменты).

Их связь с Тагильской островной дугой сомнительна, поскольку между ними лежит Арамилско-Сухтелинская подзона (см. рис. 5, показана шашечками), являющаяся сильно эродированной частью более молодой Магнитогорской дуги. Сходный возраст с андезитами и риолитами Сафьяновского месторождения имеют щелочные вулканиты нижней части туринской свиты Кумбинско-Петропавловской и Красноуральско-Турьинской подзон, сложенные трахибазальтами, трахиандезитами, трахитами и их туфами. Среди радиологически датированных магматических комплексов обращает на себя внимание возраст габбро Рефтинского габбро-тоналитового комплекса  $428.0 \pm 3.7$  млн лет (Смирнов, Иванов, 2010).

Таким образом, U-Pb датировки для циркона из рудовмещающих вулканогенных пород Сафьяновского месторождения ( $422.8 \pm 3.7$  и  $422.8 \pm 2.0$  млн лет) относят вулканиты сафьяновской толщи к границе лудловского и пржидольского ярусов верхнего силура и не позволяют рассматривать их как латеральные возрастными аналогами нижнесилурийских вулканитов Северного, Среднего и Южного Урала. Вероятно, их следует отнести к новому верхнесилурийскому андезит-дацит-риолитовому комплексу пород Тагильско-Присакмарской мегазоны (К.С. Иванов, С.Н. Иванов, 1991). По мнению В.Н. Пучкова, упомянутые восточно-уральские вулканиты не связаны с Тагильской зоной и представляют собой самостоятельную полосу островодужных комплексов, образованных силурийской Зауральской палеодугой (Пучков, 2010; Puchkov, 2017).





**Рис. 5.** Распространение силурийских вулканитов на Урале, по (Язева, Боцкарев, 1995).

1 – плиты: I – Русская, II – Западно-Сибирская; 2 – Предуральский прогиб и Западно-Уральская зона; 3 – Центрально-Уральская зона; 4–6 – подзоны Восточно-Уральской зоны; 7 – Трансуральская зона; 8 – силурийские вулканиты Тагильской и Зауральской островных дуг; 9а – Магнитогорская зона, 9б – Арамилско-Сухтелинская подзона Магнитогорской зоны; 10 – Главный Уральский разлом; 11 – сутурные зоны; 12 – надвижки; 13 – границы Урала; 14 – район Сафьяновского месторождения.

**Fig. 5.** Localization of the Silurian volcanites at the Urals, by (Yazeva, Bochkarev, 1995).

1 – plates: I – Russian, II – Western-Siberian; 2 – Pre-uralian trough and Western Uralian zone; 3 – Central Uralian zone; 4–6 – zonation of the Eastern Uralian zone; 7 – Trasuralian zone; 8 – Silurian volcanites at the Tagil'skaya and Zauralskaya island arcs; 9a – Magnitogorskaya zone, 9b – Aramil'sko-Sukhtelinskaya part of Magnitogorskaya zone; 10 – the Main Uralian fault; 11 – suture zones; 12 – thrusts; 13 – boundaries of the Urals; 14 – region of the Saf'yanovskoe deposit.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Судя по U-Pb датировкам циркона из рудовмещающих вулканогенных пород Сафьяновского месторождения ( $422.8 \pm 3.7$  и  $422.8 \pm 2.0$  млн лет), в состав рудовмещающей толщи входят вулканиты, возраст которых соответствует пржидольскому ярусу верхнего силура. Предполагается, что они могут быть фрагментами островодужных образований силурийской Зауральской палеодуги. Полученный радиогенный возраст рудовмещающих вулканогенных пород не отвечает на вопрос о возрасте месторождения, но и не противоречит ранее высказанным гипотезам о его либо колчеданном, либо эпитермальном генезисе на коллизионном этапе развития Урала.

## Благодарности

Авторы благодарят главного геолога Н.В. Лещева и сотрудников ОАО «Сафьянмедь» за помощь в проведении полевых работ. Кроме того, мы не можем не отметить важную консультативную помощь д-ра геол.-мин. наук А.А. Краснобаева.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Амон Э.О., Коровко А.В. (1992) Новые данные по стратиграфии и литологии палеозон Урала и Средней Азии. Екатеринбург: УрО РАН, 69-77.
- Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Лещев Н.В. (2015) Новые данные о фораминиферах в рудовмещающей толще Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал). *Бюлл. МОИП. Отд. геол.*, **90**(3), 23-26.
- Грабежев А.И. (2004) Подрудные метасоматиты цинк-медно-колчеданного месторождения Урала (на примере Гайского и Сафьяновского месторождений). *Литосфера*, (4), 76-88.
- Иванов К.С., Иванов С.Н. (1991) О соотношении главных вулканогенных мегазон Урала – Тагильской и Магнитогорской. *Докл. АН СССР*, **318**(4), 937-940.
- Кисин А.Ю. (2009) Структурная позиция и время образования прожилково-вкрапленных руд Сафьяновского Zn-Cu месторождения (Средний Урал). *Литосфера*, (5), 72-84.
- Коровко А.В., Двоеглазов Д.А. (1991) О позиции Сафьяновского рудного поля в структурах Режевской структурно-формационной зоны (Средний Урал). *Геодинамика и металлогения Урала*. Свердловск: УрО АН СССР, 151-152.
- Коровко А.В., Постоялко М.В., Степанова Т.И., Петрова Л.Г., Шурыгин М.В., Иванов К.С., Амон Э.О. (1999) Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала. Екатеринбург: Комитет природы по Свердловской обл., 141-144.
- Коротеев В.А., Дианова Т.В., Кабанова Л.Я. (1979) Среднепалеозойский вулканизм восточной зоны Урала. М.: Наука, 130 с.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2012) Новые данные по цирконовой геохронологии Аршинских вулканитов



## REFERENCES

- (Южный Урал). *Литосфера*, (4), 127-139.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н., Иванов К.С., Коровко А.В. (1990) О возрасте вулканогенных формаций и времени заложения островной дуги на востоке Среднего Урала. *Докл. АН СССР*, **315**(5), 1203-1205.
- Ронкин Ю.Л., Притчин М.Е., Сорока Е.И., Гердес А. (Gerdes A.), Пучков В.Н., Бушарина С.В. (2016) Первые U–Pb-изотопные данные для циркона из андезита Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал). *Докл. РАН*, **469**(3), 328-332.
- Смирнов В.Н. (2012) Основные этапы магматизма восточного склона Среднего Урала. *Литосфера*, (5), 4-15.
- Смирнов В.Н., Иванов К.С. (2010) Первая силурийская U–Pb датировка (SHRIMP-II) офиолитов на Урале. *Докл. РАН*, **430**(2), 218-221.
- Чувашов Б.И., Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Ярославцева Н.С. (2011) Новые данные о возрасте рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения (Средний Урал) на основе фораминифер. *Докл. РАН*, **439**(5), 648-650.
- Шереметьев Ю.С. Сафьяновское медноколчеданное месторождение на Среднем Урале. Отчет Артемовской партии по детальной разведке северной части Сафьяновского месторождения с подсчетом запасов по состоянию на 01.07.1990 г. за 1985–1990 гг. Артемовский, 1990.
- Язева Р.Г., Бочкарев В.В. (1995) Силурийская островная дуга Урала: структура, развитие, геодинамика. *Геотектоника*, (6), 32-44.
- Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В. (1992) Геология Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал). Препринт. Екатеринбург: УрО РАН, 71 с.
- Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Aleinikoff J.N., Davis D.W., Korsch R.J., Foudoulis C. (2003) TEMORA 1: a new zircon standard for U-Pb geochronology. *Chem. Geol.*, **200**, 155-170.
- Ludwig K.R. (2001) SQUID 1.02, A User Manual, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, USA.
- Puchkov V.N. (2017) General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: what, where, when and why. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 4-29.
- Wiedenbeck M., Allé P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. (1995) Three Natural Zircon Standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, Trace Element and REE Analyses. *Geostand. Newslett.*, **19**, 1-23.
- Williams I.S. (1998) U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. (Ed. M.A. McKibben, W.C. Shanks III, W.I. Ridley). *Rev. Econ. Geol.*, **7**, 1-35.
- Amon E.O., Korovko A.V. (1992) The stratigraphy and lithology new data of the Urals and Middle Asia paleozones. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 69-77. (In Russ.)
- Anfimov A.L., Soroka E.I., Leshchev N.V. (2015) New data on foraminifera of Saf'yanovka copper pyrite deposit ore-bearing strata. *Bull. MOIP. Otd. Geol.*, **90**(3), 23-26. (In Russ.)
- Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Aleinikoff J.N., Davis D.W., Korsch R.J., Foudoulis C. (2003) TEMORA 1: a new zircon standard for U-Pb geochronology. *Chem. Geol.*, **200**, 155-170.
- Chuvashov B.I., Anfimov A.L., Soroka E.I., Yaroslavtseva N.S. (2011) New data about age of Saf'yanovka deposit strata on the base of foraminifera. *Dokl. Akad. Nauk*, **439**(5), 648-650. (In Russ.)
- Grabazhev A.I. (2004) Under-ore metasomatites zink-copper pyrite deposits of the Urals (on the example of Gai and Saf'yanovka deposits). *Lithosphere (Russia)*, (4), 76-88. (In Russ.)
- Ivanov K.S., Ivanov S.N. (1991) About correlation of the main volcanogenic megazones of the Urals – Tagil and Mgnitogorsk. *Dokl. AN SSSR*, **318**(4), 937-940. (In Russ.)
- Kissin A.Yu. (2009) Struktural position and age of vein-impregnated ores formation of Saf'yanovka Zn-Cu deposit (Middle Urals). *Lithosphere (Russia)*, (5), 72-84. (In Russ.)
- Koroteev V.A., Dianova T.V., Kabanova L.Ya. (1979) A Middlepaleozoic volcanism of the eastern zone of the Urals. Moscow, Nauka Publ., 130 p. (In Russ.)
- Korovko A.V., Dvoeglazov D.A. (1991) About Saf'yanovka ore field in the Rezh struktural-formation zone (Middle Urals). *Geodynamics and Metallogeny of the Urals*. Sverdlovsk, UrO AN SSSR Publ., 151-152. (In Russ.)
- Korovko A.V., Postoyalko M.V., Stepanova T.I., Petrova L.G., Shurygin M.V., Ivanov K.S., Amon E.O. (1999) The problems of stratigraphy and paleontology of the Urals. Ekaterinburg, Komprirody po Sverdlovskoi oblasti Publ., 141-144. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2012) New data about Arshinian volcanites zircon geochronology. *Lithosphere (Russia)*, (4), 127-139. (In Russ.)
- Ludwig K.R. (2001) SQUID 1.02, A User Manual, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, USA.
- Puchkov V.N. (2010) The actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny. Ufa, Dizain-PoligrafServis Publ., 280 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2017) General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: what, where, when and why. *Ore Geol. Rev.*, **85**, 4-29.
- Puchkov V.N., Ivanov K.S., Korovko A.V. (1990) About age of volcanogenic formations and time of location of island arc on the east of Middle Urals. *Dokl. AN SSSR*, **315**(5), 1203-1205. (In Russ.)
- Ronkin Yu.L., Pritchin M.E., Soroka E.I., Gerdes A., Puchkov V.N. (2016) The first U-Pb isotopic data for zircon in andesite from Saf'yanovka Zn-Cu-pyrite deposit (Middle Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **469**(3), 328-332. (In Russ.)

- Sheremet'ev Yu.S. (1990). Safyanovskoe copper sulfide deposit at the Middle Urals. Report of the Artemovskaya geological party of a detail research of the Northern part of the Safyanovskoe deposit with reserves estimation on 01.07.1990 years and 1985–1990 years. Artemovskii, 1990. (In Russ.)
- Smirnov V.N. (2012) Base stages of magmatism of eastern slope of the Middle Urals. *Lithosphere (Russia)*, (5), 4-15. (In Russ.)
- Smirnov V.N., Ivanov K.S. (2010) The first Silurian U-Pb dating (SHRIMP-II) of ophiolite in the Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **430**(2), 218-221. (In Russ.)
- Wiedenbeck M., Allé P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. (1995) Three Natural Zircon Standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, Trace Element and REE Analyses. *Geostand. Newslett.*, **19**, 1-23.
- Williams I.S. (1998). U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. (Ed. M.A. McKibben, W.C. Shanks III, W.I. Ridley). *Rev. Econ. Geol.*, **7**, 1-35.
- Yazeva R.G., Bochkarev V.V. (1995) Silurian island arc of the Urals: structure, development, geodynamics. *Geotektonika*, **6**, 32-44. (In Russ.)
- Yazeva R.G., Moloshag V.P., Bochkarev V.V. (1992) Geology of the Safyanovskoe copper pyrite deposit (Middle Ural). Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 71 p. (In Russ.)