

## U-Pb LA ICP-MS СИСТЕМАТИКА ЦИРКОНА ИЗ АНДЕЗИТА САФЬЯНОВСКОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2016 г. Ю. Л. Ронкин, М. Е. Притчин, Е. И. Сорока, А. Гердес\*, Г. А. Петров, С. В. Бушарина

Сафьяновское медно-цинко-колчеданное месторождение (СМ) уральского типа (содержание и запасы меди до 3.33%, 0.9 млн т соответственно) находится в Восточно-Уральской мегазоне Среднего Урала на южном окончании Режевской структурно-формационной зоны, внутреннее строение которой характеризуется наличием комплекса надвиговых дислокаций, определивших пространственную со вмещенность разновозрастных, разноформационных и разнофациальных комплексов вулканогенного, терригенного и смешанного составов преимущественно девонского и нижнекаменноугольного возраста [15].

В соответствии с представлениями [15] Сафьяновское месторождение представляет собой интенсивно тектонизированный сохранившийся фрагмент палеовулканической постройки основного-среднего-кислого состава среднепалеозойского возраста, к вершине которой приурочена линейная палеодепрессия, выполненная вулканомиктовыми породами и сплошными и вкраплено-прожилковыми медно-цинковыми рудами комплексного генезиса. Руды слагают нормально залегающий рудный “холм черного курильщика” и обрабатываются с 1994 г. открытым и подземным способами. Рудоносный блок залегает в пакете тектонических пластин. Верхнюю тектоническую пластину образуют альпинотипные ультрамафиты Режевского массива (алапаевский комплекс). Ниже расположена тектоническая пластина, к которой относится рудовмещающий комплекс пород СМ. В него входят вулканогенные породы, отнесенные к базальт-риолитовой формации среднего девона (в соответствии с легендой Среднеуральской серии – теченская свита; ранее – сафьяновская вулканическая ассоциация). Непосредственно рудовмещающими являются полифациальные кремнекислые образования, представленные риолитами, риодацитами, дацитами, их туфами, туффитами, брекчиями с прослоями андезитов и вулканогенно-обломочными породами аналогичного состава с прослоями углеродисто-кремнистых пород и известняков нижне-среднедевонского возраста (рис. 1а).

В Режевском районе в ходе поисковых и разведочных работ [5, 6] среди вулканогенных и вулка-

ногенно-осадочных толщ были впервые сделаны находки конодонтов [9], которые вопреки ранее существовавшему мнению о силурийском возрасте этих толщ позволили датировать их как девонские. На южном фланге СМ (скважина 2149, глубина 298.5–335 м) из пачки туфоалевролитов, туфопесчаников, глинисто-кремнистых пород с рудокластами (до 1–1.6 см) серного колчедана и интервалами седиментогенных брекчий с обломками риолитов, дацитов, туффитов, туфоалевролитов, базальтов были выделены конодонты, руководящие для среднего лохкова ( $D_1$ ). Присутствие рудокластов делает лохковский возраст месторождения наиболее вероятным. В яшмах среди толеитовых базальтов более высокой части разреза были найдены конодонты верхов эмса-эйфеля. Еще выше по разрезу, в андезито-базальтовых порфири-тах, – конодонты пограничных слоев верхнего живета–низов франа.

Позже в углеродисто-кремнистых породах рудовмещающей толщи в той же части карьера на глубине 150 и 285 м были описаны [13] кремнисто-апатитовые и известковые раковины фораминифер *Parathuramina tamarae* L. Petrova, возраст которых считается соответствующим лангурскому и высотинскому горизонтам (верхняя часть эйфельского – нижняя часть живетского ярусом). В разнофациальных гематитизированных эффузивных и эксплозивных андезитоидах висячего бока СМ выявлены радиолярии верхнего девона [1].

Приведенные данные не могут быть согласованы в рамках представлений о нормальной стратиграфической последовательности пород в висячем боку месторождения. Наконец, факт, что в породной последовательности вмещающих толщ месторождения верхнее положение занимают альпинотипные гипербазиты, говорит о сложной чешуйчатонадвиговой структуре.

Изученность методами изотопной геологии характеризуется наличием **K-Ar данных для 12 образцов** серицитовых метасоматитов, по которым получены два изохронных возраста,  $350 \pm 2$  и  $267 \pm 6$  млн лет, интерпретируемые авторами [13] как время шарьирования пластин островодужных комплексов и руд на чехол микроконтинента, и отражение этапа

\* Университет имени Иоганна Вольфганга Гёте, г. Франкфурт-на-Майне, Германия.

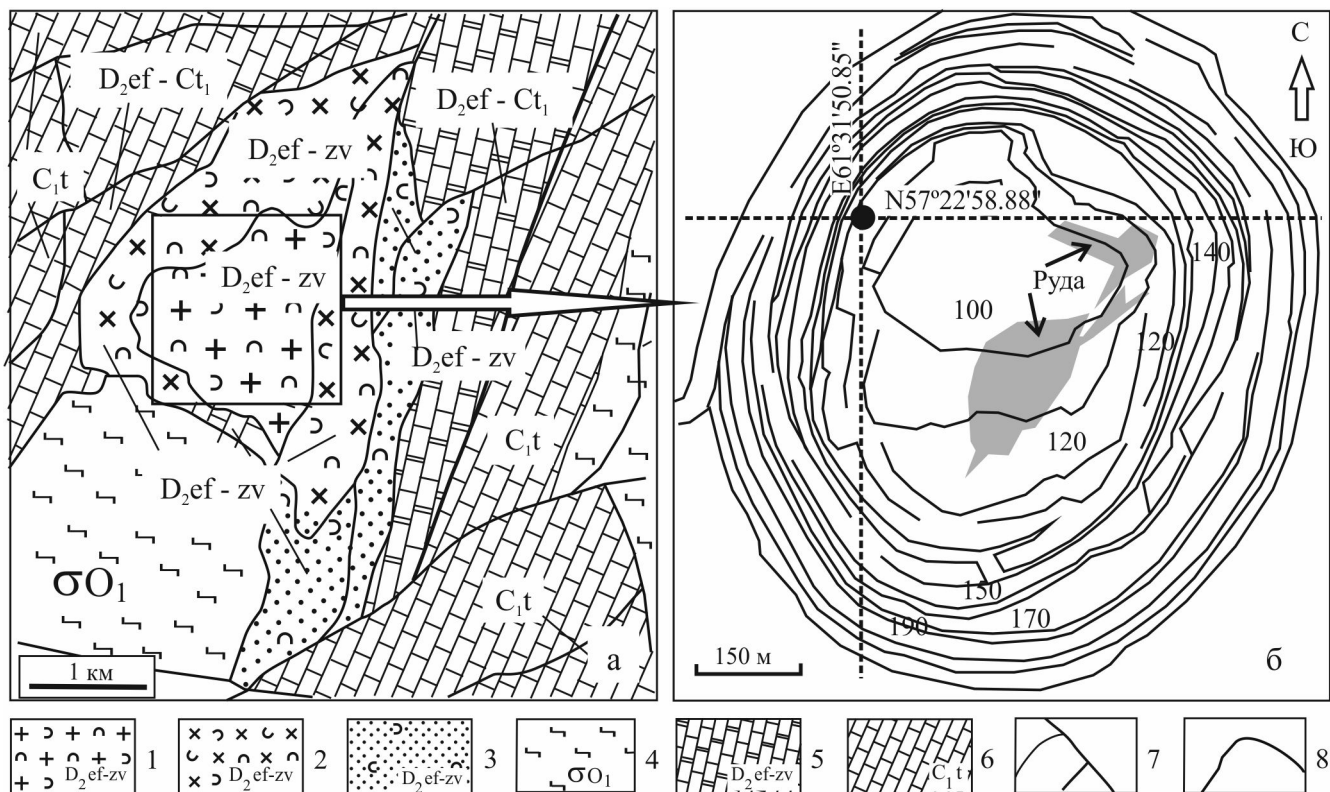


Рис. 1. Геологическая схема Сафьяновского рудного поля (а) [11] и план одноименного карьера (б) [4].

1 – риолиты, риодациты, туфы кислого состава с прослоями углеродисто-кремнистых образований; 2 – риодациты, андезиты, туфы кислого-среднего состава, углеродисто-кремнистые образования; 3 – вулканогенно-осадочные породы, песчаники, алевропесчаники; 4 – серпентиниты; 5 – мраморизованные известняки; 6 – известняки; 7 – тектонические границы, разрывные нарушения; 8 – геологические границы. Цифры и черный кружок на рис. 2б – абсолютные отметки уступов карьера и место отбора андезита с указанием широты и долготы (штриховые линии) соответственно.

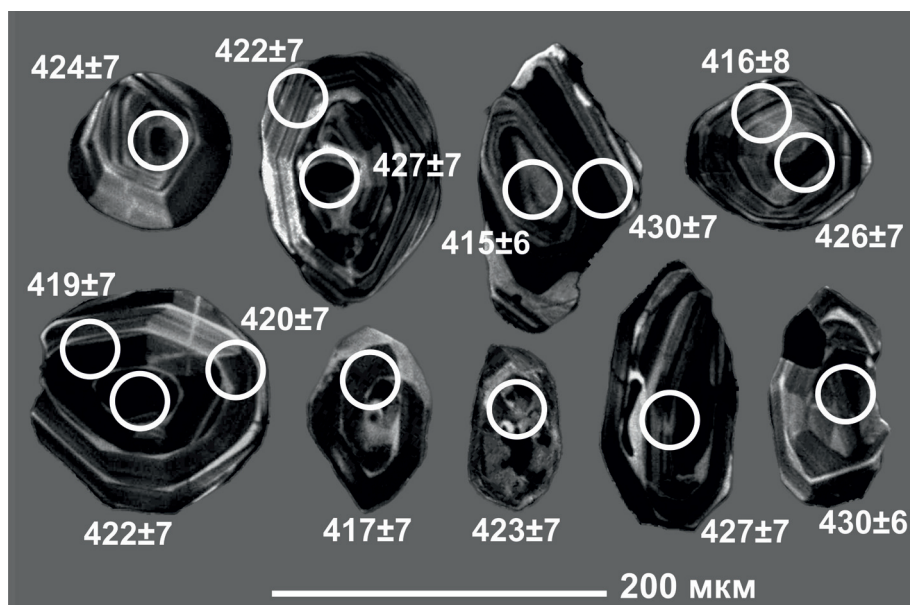
общей коллизии Урала с подновлением ранее образовавшихся шарьяжей соответственно. Гомогенный изотопный состав свинца руд СМ ( $\sigma_{206\text{Pb}/204\text{Pb}} = 0.016\%$ ) отмечается авторами работы [12], в которой приводится модельный **Pb-Pb возраст 380 млн лет** с соответствующими ограничениями на природу главных источников и постагматических флюидов, участвовавших в формировании месторождения. Иная изотопно-геохронологическая информация к настоящему времени отсутствует. Таким образом, проблема установления возраста рудовмещающих пород и оруденения СМ является дискуссионной [1, 4–6, 9, 11, 13–15] и требует дальнейших исследований современными методами изотопной геологии, что в определенной мере и было выполнено в настоящей пилотной работе путем U-Pb LA ICP-MS датирования циркона из андезита, отобранного из западного борта Сафьяновского карьера (N57°22'58.88", E61°31'50.85", рис. 1б).

Андезиты и преимущественно их взрывные брекчии, наиболее широко развитые в западной части и на нижних горизонтах палеовулканической постройки, слагают единичные линзовидные тела северо-восточного простирания и западного па-

дения, занимают подчиненное положение в строении разреза рудоносного комплекса и присутствуют в виде ксенолитов в более поздних риодацитах и риолитах (см. рис. 1а). Мощность тел андезитов увеличивается с севера на юг и достигает первых сотен метров. Выделенный из андезита циркон для **U-Pb датирования представлен изометричными индивидами** размером до 150 мкм, имеющими определенно проявленную осцилляционную зональность (рис. 2).

**U-Pb LA ICP-MS датирование циркона** осуществлялось с помощью секторного масс-спектрометра Thermo Scientific Element2, интегрированного с лазерной установкой New Wave Research UP-213 во Франкфуртском университете им. Иоганна Вольфганга Гёте (Германия). Детали методики описаны в работе [2].

Результаты **U-Pb LA ICP-MS датирования циркона** из андезита представлены в табл. 1 и на рис. 3. Концентрации урана и отношение Th/U в изученном цирконе варьируют: 137 – 619 г/т, 0.13–0.31 соответственно. Диапазон конкордантных (коэффициент конкордантности 96–107%) **U-Pb возрастов**, от  $415 \pm 6$  до  $430 \pm 7$  млн лет. Положение фи-



**Рис. 2.** Катодоллюминесцентные изображения циркона из андезита Сафьяновского месторождения, Средний Урал.

Белые кружки демонстрируют локализацию LA ICP-MS областей. Цифры отображают конкордантный U-Pb возраст (млн лет) и  $\pm 2\sigma$  погрешности соответственно.

**Таблица 1.** U-Pb LA ICP-MS данные для циркона из андезита Сафьяновского месторождения

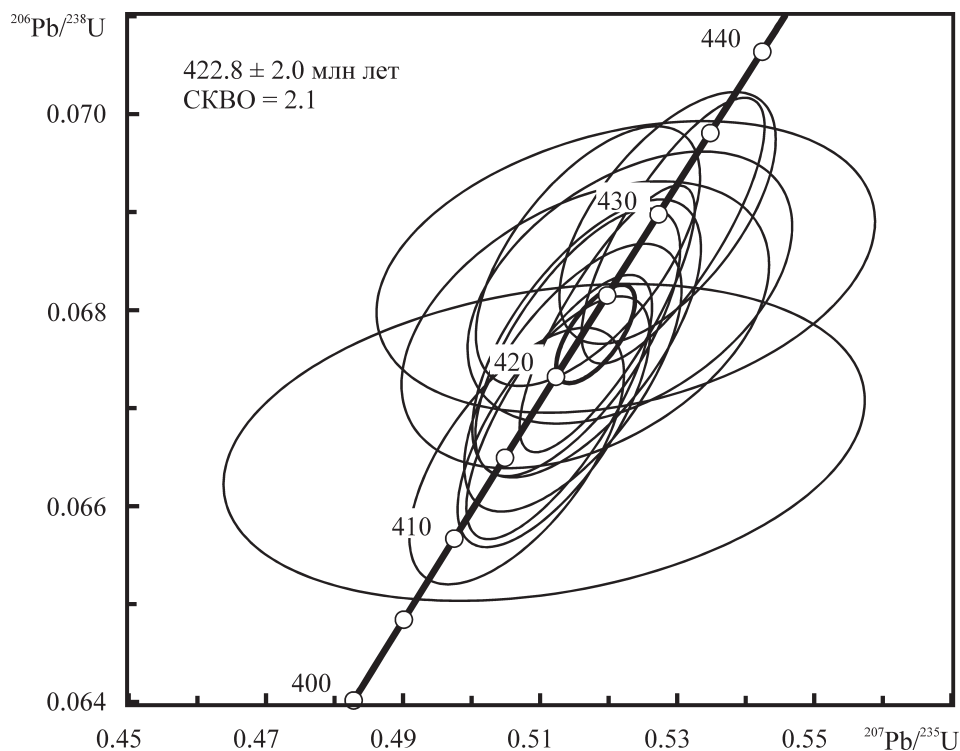
Кратер	$^{207}\text{Pb}^a$ (cps)	$\text{U}^b$ , г/г	$\text{Pb}^b$ , г/г	$\text{Th}^b/\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^c$ , %	$^{207}\text{Pb}^d/^{235}\text{U}$	$\pm 2s$ , %	$^{206}\text{Pb}^d/^{238}\text{U}$	$\pm 2s$ , %	$\text{Rho}^e$	$T \pm 2s$ , млн лет	СКВО	$P_c$	$\text{Conc.}^f$ , %
C1	6762	137	10	0.15	8.0	0.5225	5.7	0.06844	1.8	0.31	427 ± 7	0	0.99	100
C2	4587	173	11	0.13	0.0	0.5286	2.4	0.06894	1.5	0.62	430 ± 6	0.11	0.74	98
C3	19491	178	16	0.15	18.3	0.5106	7.5	0.06665	2.0	0.26	416 ± 8	0.055	0.81	96
C4	8515	288	16	0.18	1.5	0.5166	4.2	0.06785	1.8	0.42	423 ± 7	0.0022	0.96	100
C5	9620	346	23	0.22	0.2	0.5120	2.2	0.06686	1.6	0.70	418 ± 6	0.85	0.36	96
C6	6983	258	17	0.17	0.2	0.5198	2.0	0.06791	1.6	0.82	424 ± 7	0.5	0.48	98
C7	8143	305	20	0.16	0.5	0.5148	2.5	0.06731	1.7	0.66	420 ± 7	0.28	0.60	97
C8	10641	398	26	0.21	0.1	0.5155	2.4	0.06767	1.6	0.70	422 ± 7	0.0002	0.99	100
C9	15586	563	38	0.31	0.1	0.5128	2.2	0.06701	1.6	0.76	419 ± 7	0.81	0.37	97
C10	6233	217	15	0.22	1.0	0.5170	2.6	0.06855	1.6	0.61	427 ± 7	1.4	0.23	107
C11	4778	179	12	0.18	0.3	0.5168	2.6	0.06771	1.7	0.65	422 ± 7	0.036	0.85	99
C12	9779	362	24	0.23	0.1	0.5066	2.5	0.06651	1.6	0.64	415 ± 6	0.10	0.75	98
C13	17161	619	41	0.21	0.1	0.5294	2.1	0.06881	1.6	0.78	430 ± 7	1.1	0.29	97
C14	9402	212	15	0.21	4.7	0.5231	3.7	0.06823	1.7	0.45	426 ± 7	0.09	0.76	97
Стандарты														
91500 (n = 12)	5383	25	4.5	0.35	0.68	1.8403	2.4	0.17910	2.1	0.51	1060 ± 15	0.05	0.82	99
Ples (n = 13)	8254	695	36	0.12	0.44	0.3959	2.0	0.05379	1.4	0.66	338 ± 5	0.16	0.69	99
BB (n = 12)	6080	288	27	0.31	0.28	0.7535	2.4	0.0928	1.9	0.60	571 ± 9	0.11	0.74	101

Примечание. Размер кратера до 33 мкм при глубине ~ 15 мкм. а – фоновое значение по средней величине  $^{207}\text{Pb}$  в cps (импульс в секунду); б – концентрации U, Pb и отношение Th/U рассчитаны относительно стандарта циркона GJ-1; с – в процентах от общего свинца по  $^{206}\text{Pb}$ ; d – скорректировано на бланк, фракционирование и общий свинец; e – Rho коэффициент корреляции отношений  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  и  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ; f – степень конкордантности; T – конкордантный U-Pb возраст;  $P_c$  – вероятность соответствия конкордантности.

гуративных точек U-Pb систематики на графике в координатах  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  определяет кластер, соответствующий практически конкордантному (СКВО = 2.1) U-Pb возрасту:  $422.8 \pm 2.0$  млн лет, что определяется границей пржидольского и лудловского ярусов силура. В первом приближе-

нии вулканогенные породы такого возраста не известны в составе Восточно-Уральской мегазоны на Среднем Урале [7]. Тем не менее исследованная рудоносная вулканогенная толща может коррелироваться с именовской свитой Тагильской или катенинской толщей Зауральской мегазон, в разрезе





**Рис. 3.** График с конкордией для циркона из андезита Сафьяновского месторождения, Средний Урал. Погрешности аналитических эллипсов соответствуют  $\pm 2\sigma$ .

которых также широко развиты вулканиты среднего состава.

Таким образом, нами впервые установлено присутствие пржидольско-лудловских вулканогенных пород в пределах Восточно-Уральской мегазоны на Среднем Урале. Раньше считалось, что в это время здесь происходило накопление исключительно осадочных, преимущественно карбонатных отложений [7]. Датированный, разумеется, с известными ограничениями U-Pb LA ICP-MS метода [2, 10] нами циркон из андезита СМ позволяет рассматривать латеральные возрастные аналоги на Южном Урале, в среднем течении р. Багаряк, где развиты сходные вулканогенные образования фаунистически охарактеризованных зотинской ( $S_1$ ) и межневской ( $S_{1-2}$ ) свит [3], и в окрестностях г. Челябинска. Здесь известен венлок-лудловский мичуринский эффузивный комплекс [8]. Возможно также, что находка возрастных и вещественных аналогов именной свиты подтверждает гипотезу о существовании Восточно-Уральского ретрошарьяжа, транспортировавшего комплексы Тагильской палеоостровной дуги на Восточно-Уральский мегаблок [8, 14]. Неисключена также вероятность того, что андезиты подобно надвинутым серпентинитам Режевского массива, которые перекрывают южную часть Сафьяновского рудного поля, являются ксеногенными телами в рудовмещающей толще СМ. Дальнейшие исследования района СМ, ве-

роятно, позволят уточнить аргументы в пользу той или иной гипотезы.

Авторы признательны А.В. Коровко за конструктивные предложения при написании статьи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амон Э.О., Коровко А.В. Новые данные по стратиграфии и литологии палеозон Урала и Средней Азии. Екатеринбург: Наука, УрО РАН, 1992. С. 69–77.
2. Гердес А., Зех А., Ронкин Ю.Л. U-Pb and Lu-Hf dating of zircon from ore deposits by LA ICP-MS // Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд: мат-лы всерос. науч. конф. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2013. С. 192–195.
3. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 200 000. Лист О-41-XXXII. Серия Среднеуральская / Автор: А.В. Коровко; ред. М.С. Рапопорт. 2001.
4. Кисин А.Ю. Структурная позиция и время образования прожилково-вкрапленных руд Сафьяновского Zn-Cu месторождения (Средний Урал) // Литосфера. 2009. № 5. С. 72–84.
5. Коровко А.В., Постоялко М.В., Степанова Т.И., Петрова Л.Г., Шурыгин М.В., Иванов К.С., Амон Э.О. Стратиграфия и фауна образований девона и карбона Сафьяновского рудного поля (Средний Урал) // Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала. Екатеринбург: Комприроды по Свердловской обл., 1999. С. 141–144.
6. Коровко А.В., Шуйский В.П., Лещев Н.В. О наход-

- ках фауны в колчеданных рудах Сафьяновского месторождения // Ежегодник-1995. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1996. С. 9–12.
7. *Петров Г.А., Жиганов А.А., Стефановский В.В., Шалагинов В.В., Петрова Т.А., Овчинников Р.А., Геррманн Т.А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-41. Екатеринбург. СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. 492 с.
  8. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: ГИЛЕМ, 2000. 146 с.
  9. *Пучков В.Н., Иванов К.С., Коровко А.В.* О возрасте вулканогенных формаций и времени заложения островной дуги на востоке Среднего Урала // Докл. АН СССР. 1990. Т. 315, № 5. С. 1203–1205.
  10. *Ронкин Ю.Л., Ефимов А.А., Лепихина О.П.* Артефакты при U-Pb SIMS датировании цирконов. Арбитражное сравнение с прецизионными U-Pb ID-TIMS и данными иных изотопных систем // Ежегодник-2008. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 156. 2009. С. 337–343.
  11. *Сафина Н.П., Масленников В.В.* Состав и продукты преобразования обломочных сульфидных отложений Сафьяновского и Яман-Касинского месторождений Урала // Литосфера. 2007. № 2. С. 130–140.
  12. *Чернышев И.В., Викентьев И.В., Чугаев А.В., Шатагин К.Н., Молошаг В.П.* Источники вещества колчеданных месторождений Урала по результатам высокоточного MC-ICP-MS изотопного анализа свинца галенитов // Докл. АН. 2008. Т. 418, № 4. С. 530–535.
  13. *Чувашов Б.И., Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Ярославцева Н.С.* Новые данные о возрасте рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения (Средний Урал) на основе фораминифер галенитов // Докл. АН. 2011. Т. 439, № 5. С. 648–650.
  14. *Язева Р.Г., Бочкарёв В.В.* Геодинамическая интерпретация Среднеуральского альпинотипного шарьяжа // Геотектоника. 1993. № 2. С. 20–28.
  15. *Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В.* Геология Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал). Препринт. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 71 с.