

УДК 551.21+552.11

DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-7

## ИРЕНДЫКСКАЯ РАЗВИТАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА РАННЕЭЙФЕЛЬСКОГО ВОЗРАСТА: ВУЛКАНИЗМ, КОЛЧЕДАННОЕ ОРУДЕНЕНИЕ, ПЛАТИНОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

А. М. Косарев, Г. Т. Шафигуллина, К. Р. Минибаева

*Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, E-mail: amkosarev@mail.ru*

В данной работе приведена характеристика раннеэйфельской Ирендыкской развитой островной дуги, которая в Западно-Магнитогорской зоне прослежена в меридиональном направлении на 500 км. В северной части Ирендыкская островная дуга образована крупными стратовулканами базальт-андезитобазальтового состава. В южной ее части, от широты урочища Гадельша, в ее составе присутствуют анкармитсодержащие вулканы центрального типа Гадельшинский, Кунакайский и Гадилевский, Суурганская зона ареального кислого вулканизма, Подольский кальдера-вулкан, вмещающий крупное Подольское колчеданное (Cu > Zn) и Восточно-Подольское барит-полиметаллическое месторождения. В анкармитах Е.В. Пушкаревым обнаружена платиновая минерализация. Платина присутствует также в Гадельшинских золотоносных россыпях.

*Ключевые слова:* островная дуга, вулканизм, анкармиты, колчеданное оруденение, субдукция

## IRENDYK DEVELOPED ISLAND ARC OF EARLY-EIFELIAN AGE: VOLCANISM, MASSIVE SULFIDE OCCURENCE, PLATINUM MINERALIZATION

A. M. Kosarev, G. T. Shafigullina, K. R. Minibaeva

*Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 450077, Russia, Ufa, K. Marx st., 16/2, E-mail: amkosarev@mail.ru*

This paper describes the characteristics of the Early-Eifelian Irendyk developed arc, which is traced in the West Magnitogorsk zone in the meridional direction for 500 km. In the northern part, the Irendyk island arc is formed by large basalt-andesibasalt stratovolcanoes. In the southern part, at the latitude of Gadelsha tract, it contains ankaramite-bearing volcanoes of the central type Gadelshinsky, Kunakay and Gadilewsky, Suurgansky complex of areal acidic volcanism, Podolsky calderavolcano containing large massive sulfide Podolsky (Cu > Zn) and East-Podolsky barite-polymetallic deposits. E.V. Pushkarev discovered platinum mineralization in ankaramites. Platinum is also present in the Gadelshinsky gold deposits.

*Key words:* island arc, volcanism, ankaramites, massive sulfide occurrence, subduction

### Введение

Выделение *развитой* островной дуги, по мнению [Богатиков, Цветков, 1988], обосновывается массовым проявлением андезитового вулканизма и широким распространением вулканитов шошонитовой серии. Продукты известково-щелочного

и шошонитового магматизма как бы «надстраивают» разрез юной — толеитовой островной дуги.

В Магнитогорской мегазоне на Южном Урале выделены фронтальная (или юная) позднеэмская и развитая раннеэйфельская островные дуги.

Фронтальная островная дуга [Spadea et al., 2002] раннедевонского возраста соответствует вы-

*Для цитирования:* Косарев А.М., Шафигуллина Г.Т., Минибаева К.Р. Ирендыкская развитая островная дуга раннеэйфельского возраста: вулканизм, колчеданное оруденение, платиновая минерализация // Геологический вестник. 2020. № 3. С. 84–93. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-7.

**For citation:** Kosarev A.M., Shafigullina G.T., Minibaeva K.R. (2020) Irendyk developed island arc of Early-Eifelian age: volcanism, massive sulfide occurrence, platinum mineralization. *Geologicheskii vestnik*. No.3. P. 84–93. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-7.

© А.М. Косарев, Г.Т. Шафигуллина, К.Р. Минибаева, 2020

деленной Ф.И. Ковалевым баймак-бурибаевской свите. Последняя в настоящее время по конодонтам датирована поздним эмсом [Маслов, Артюшкова, 2010] и разделена на две свиты: 1 — собственно баймак-бурибаевскую (нижнюю) ( $D_1e_2^1br$ ), выделяемую также в бурибайский комплекс, сложенный вулканитами бонинитовой высококальциевой и толеитовой островодужной петрогенетических серий [Зайков и др., 2001, 2009; Косарев, 2001; Косарев и др., 2005; Spadea et al., 2002]; 2 — верхнетаналькскую свиту (верхнюю) ( $D_1e_2^2vtn$ ) или комплекс, перекрывающую нижнюю свиту и сложенную преимущественно вулканитами базальт-андезибазальт-андезит-дацит-риодацитового состава известково-щелочной магнезиальной серии [Косарев и др., 2005]. В составе верхнетаналькской свиты с севера на юг в пределах Тубинско-Гайского колчеданоносного вулканического пояса от Баймакского рудного района к Гайскому возрастает количество вулканитов толеитовой островодужной серии [Косарев, Серавкин, 2018].

### Методика исследования химического состава пород

В работе использованы авторские и опубликованные количественные аналитические материалы. Анализы ICP-MS методом сделаны в хим. лабораториях ИГЕМ (г. Москва) и Университета г. Гранады (Испания); рентгено-флюоресцентный анализ — в хим. лаборатории ИГЕМ (г. Москва); силикатный, атомно-абсорбционный и рентгено-флюоресцентный анализы — в хим. лабораториях ИГ УФИЦ РАН (г. Уфа) и Института минералогии УрО РАН (г. Миасс).

### Результаты исследования

В Западно-Магнитогорской зоне *развитая островная дуга* соответствует ирендыкской свите ( $D_2ef_1ir$ ). В северной части хребта Ирендык, на север от широты южной границы Балта-Тауского рудного поля и границы Баймакского и Хайбуллинского административных районов Республики Башкортостан, ирендыкская свита имеет базальт-андезибазальтовый состав и делится на 3 толщи. В южной части хр. Ирендык и его отрогов ирендыкская свита имеет дифференцированный состав и делится в северной части на Подольском рудном поле на 6 толщ, а на юге, в Сагитовском блоке, на 4 толщи.

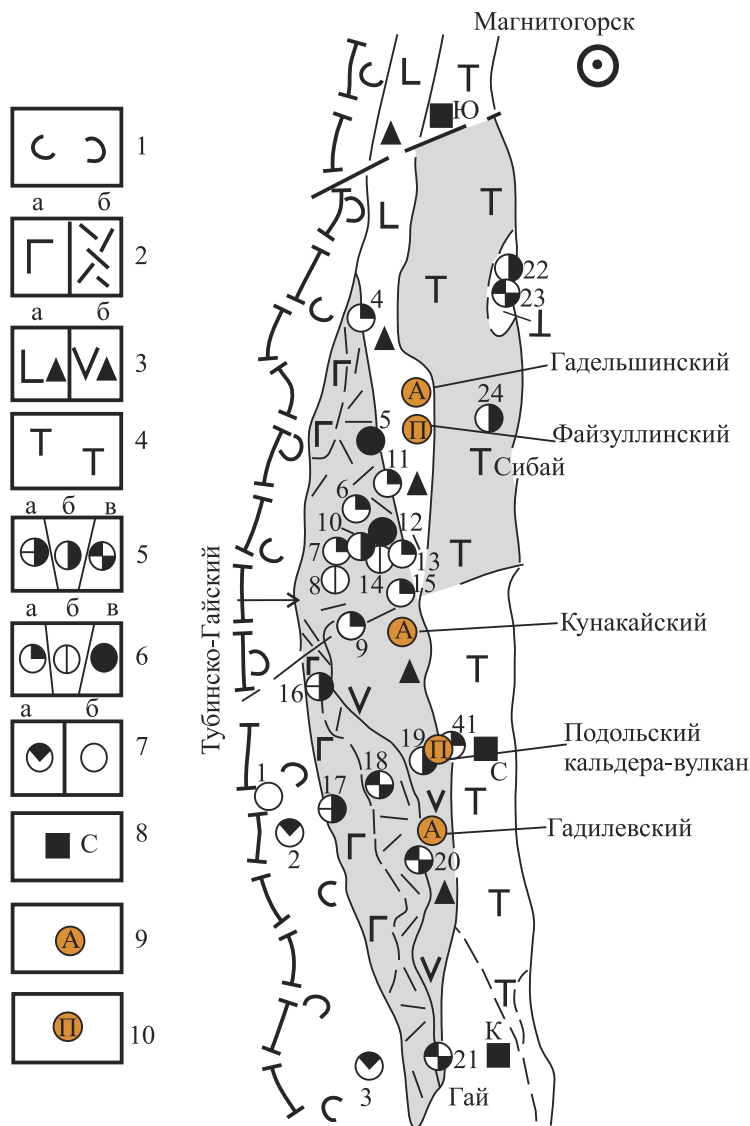
Развитая островная дуга состоит из трех частных вулканических комплексов, слагающих ирен-

дыкскую свиту: 1 — северо-ирендыкского базальт-андезибазальтового; 2 — южно-ирендыкского гибридного базальт-андезибазальт-андезит-дацит-риолитового; 3 — сукраковского трахидацитового. Ирендыкский палеовулканический пояс имеет субмеридиональную ориентировку и смещен на восток относительно нижележащего верхнетаналькского комплекса (рис. 1).

Все вулканиты комплекса имеют хорошо выраженное порфировое строение. По размерам вкрапленников выделяются разновидности с мелкопорфировыми, среднепорфировыми и крупнопорфировыми до мегапоровыми структурами. При этом сказанное касается почти всех, за небольшим исключением, типов пород по кислотности, от основных до кремнекислых.

В составе вулканогенных толщ северо-ирендыкской подзоны выделяются отдельные фрагменты разреза и типы пород, которые относятся к магнезиальной, умеренноглиноземистой и глиноземистой известково-щелочным сериям и к переходной от известково-щелочной глиноземистой к субщелочной шшонитовой серии.

*Северо-Ирендыкский базальт-андезибазальтовый комплекс* получил развитие в северной части Ирендыкской структурной зоны, для которой характерны стратовулканы слабо дифференцированного базальт-андезибазальтового состава, и в Сагитовском блоке Южно-Ирендыкской подзоны. Закономерности изменения состава вулканитов в вулканических сооружениях сложны. Намечаются как гомодромные (андезибазальты, андезиты завершают разрез), так и антидромные тенденции. Однако главным признаком этих вулканических сооружений является комплементарность состава вулканитов. Как правило, преобладают базальты пироксен-плагиофировые. В низах разреза палеовулканов часто залегают оливин-пироксен-(плагиофировые) высокомагнезиальные ( $MgO$  — 16.2%) базальты (Гадельшинский стратовулкан, Сагитовский блок), а к верхней части разреза тяготеют обильно-плагиоклазовые, нередко мегаплагиофировые базальты с тремя-четырьмя генерациями плагиоклаза и с высоким глиноземом ( $Al_2O_3$  до 22%). Отличия между этими типами пород обнаруживаются как петрографическими методами, так и по особенностям химизма. По материалам глубокой скважины в Сагитовском блоке в оливин-пироксеновых базальтах содержания  $MgO$  — 13.8–16.2%,  $Al_2O_3$  — 7.65–8.61%,  $Na_2O$  — 0.75–1.41%, в обильно-плагиоклазовых базальтах  $MgO$  — 4.64%,  $Al_2O_3$  — 18.19%,  $Na_2O$  — 4.25%; в преобладающих пироксен-плагио-



**Рис. 1.** Размещение колчеданных месторождений в вулканических комплексах Магнитогорской мегазоны [Серавкин, 2007], с дополнениями А.М. Косарева

Условные обозначения: *Формации:* 1 — преобладающая базальтовая (O-S), фрагменты трахибазальт-трахитовой ( $D_{1e}$ ) и базальт-риолитовой ( $D_{1e}$ ); 2 — базальт-риолитовая ( $D_{1e}$ ): контрастный (а) и непрерывный (б) комплексы; 3 — андезито-базальтовая ( $D_{2ef}$ ): базальт-андезитобазальтовый (а) и гибридный базальт-андезит-риолитовый (б) комплексы; 4 — базальт-риолитовая ( $D_{2ef}$ ): контрастный (б) комплекс. Колчеданные месторождения: 5 — цинково-медно-колчеданные,  $Cu > Zn$ , уральский I подтип (а), медно-цинковоколчеданные,  $Cu < Zn$ , уральский II подтип (б) и медно-цинковоколчеданные с полиметаллической минерализацией, уральский III подтип, (в); 6 — золото-колчеданно-полиметаллические (а), золото-барит-полиметаллические (б) и золото-колчеданные (в) (баймакский тип); 7 — кобальт-медноколчеданные (ивановский тип) (а) и цинково-колчеданные (филизчайский тип) (б); 8 — положение безрудных участков: С — Савельевский, К — Калиновский, Ю — Юлдашевский; 9 — вулканические сооружения, содержащие анкармиты; 10 — вулканические сооружения с плюмовыми базальтами толеитового типа. Серым показаны колчеданоносные палеовулканические пояса. *Названия колчеданных месторождений:* 1 — Ивановское, 2 — Дергамышское, 3 — Ишкининское, 4 — Тубинская группа, 5 — Куль-Юрт-тау, 6 — Уварьяж, 7 — Бакр-тау, 8 — Горная Байкара, 9 — Майское, 10 — Таш-тау, 11 — Таналык-Баймакское, 12 — Семеновское, 13 — Юлалинское, 14 — Туба-Каин, 15 — Балта-тау, 16 — Юбилейное, 17 — Бурибайское, 18 — Маканская группа, 19 — Подольское, 20 — Мамбетовское, 21 — Гайское, 22 — Бакр-Узяк, 23 — Южный Бакр-Узяк, 24 — Сибайское, 41 — Восточно-Подольское.

**Fig. 1.** Location of massive sulfide deposits in volcanic complexes of Magnitogorsk Megazone [Seravkin, 2007] with additions by A.M. Kosarev

*Legend: Rock formations:* 1 — predominant basaltic (O-S), fragments of trachybasalt-trachyte ( $D_{1e}$ ) and basalt-rhyolitic ( $D_{1e}$ ) strata; 2 — basalt-rhyolitic ( $D_{1e}$ ): contrast (a) and continuous (b) complexes; 3 — andesite-

basalt ( $D_{2ef}$ ): basalt-basaltic andesite (a) and hybrid basalt-andesite-rhyolite (b) complexes; 4 — basalt-rhyolitic ( $D_{2ef}$ ): contrast complex. Massive sulfide deposits: 5 — Zn-Cu massive sulfide,  $Cu > Zn$ , Urals type, subtype I (a), Cu-Zn massive sulfide,  $Cu < Zn$ , Urals type, subtype II (b), and Cu-Zn massive sulfide with polymetallic mineralization, Urals type, subtype III (v); 6 — gold massive sulfide polymetallic (a), gold-barite-polymetallic (b), and gold-massive sulfide (v) (Baimak type); 7 — Co-Cu massive sulfide (Ivanovka) (a) and Zn massive sulfide (Filizchay type) (b); 8 — position of barren zones: S — Savel'evka, K — Kalinovka, and Yu — Yuldashevo; 9 — volcanic structures containing ankaramites; 10 — volcanic structures with plume basalts of tholeiitic type. Massive sulfide paleovolcanic belts are indicated in gray. *Massive sulfide deposits:* 1 — Ivanovka, 2 — Dergamysh, 3 — Ishkinino, 4 — Tubinsk Group, 5 — Kul'-Yurt-Tau, 6 — Uvaryazh, 7 — Bakr-Tau, 8 — Gornaya Baikara, 9 — Maiskoe, 10 — Tash-Tau, 11 — Tanalyk-Baimak, 12 — Semenovka, 13 — Yulaly, 14 — Tubinsk-Kain, 15 — Balta-Tau, 16 — Yubileinoe, 17 — Buribay, 18 — Makan Group, 19 — Podolsk, 20 — Mambet, 21 — Gay, 22 — Bakr-Uzyak, 23 — Southern Bakr-Uzyak, 24 — Sibay and 41 — Eastern Podolsk.

клавовых базальтах  $MgO$  — 7.7–8.5%,  $Al_2O_3$  — 15.5–17.1%,  $Na_2O$  — 1.7–2.7%. Заметные отличия между перечисленными типами пород показывают и концентрации микроэлементов. Пироксен-оливиновые базальты обогащены Cr, Ni, плагиофировые содержат повышенные содержания Zr и Y.

Большая часть вулканитов основного и среднего составов Северо-Ирендыкской подзоны обо-

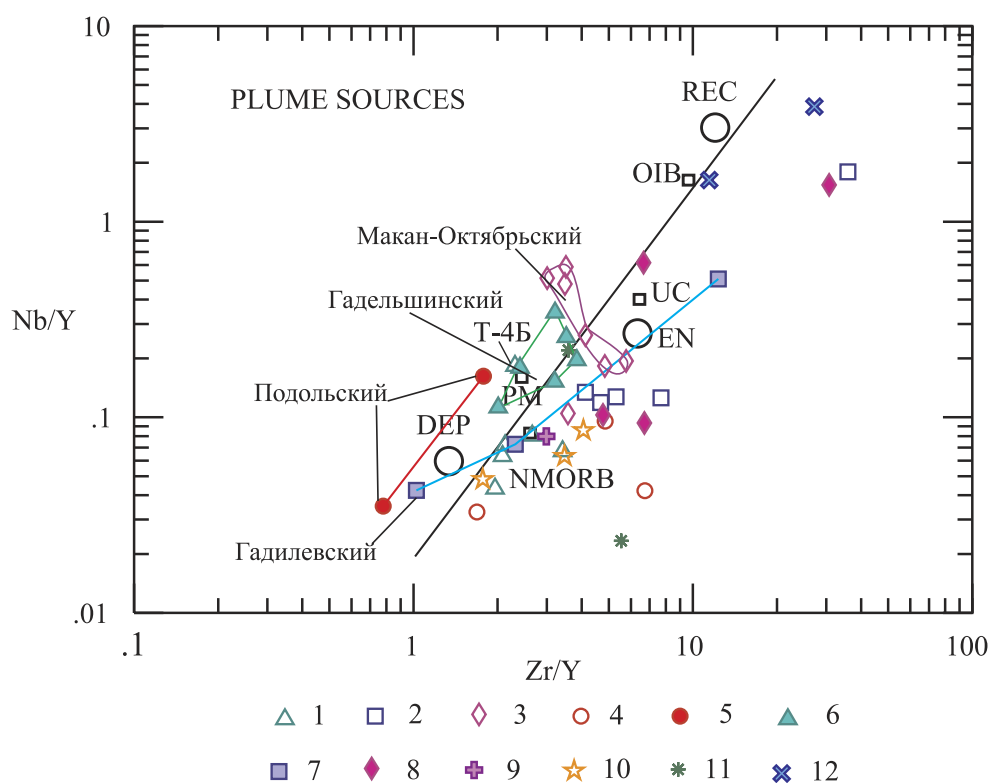
гащена легкими лантаноидами. В связи с этим вариационные графики порода/хондрит имеют наклонный характер, нисходящий от легких к тяжелым РЗЭ. Величины отношений  $La/Yb$  в этих породах составляют от 3.01 до 15.3, что обычно для известково-щелочных и субщелочных вулканических серий. Меньшая часть проб, преимущественно из разреза Гадельшинского палеовулкана, включающая

пироксен-плагиоклазовые, оливин-пироксен-порфи́ровые базальты и андезитбазальты, имеет ровные вариационные линии отношений порода/хондрит, обычные для толеитовых островодужных серий и низкокальциевых известково-щелочных серий [Фролова, Бурикова, 1997]. Единичные пробы оливин-пироксен-порфи́ровых базальтов резко обеднены легкими РЗЭ и по форме вариационной линии порода/хондрит близки к базальтам N-MORB.

Величина первичного отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в пироксенах из основных вулканитов Северо-Ирендыкского комплекса колеблется от 0.70375 до 0.70433 [Бобохов и др., 1989]. Изотопные отношения  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  имеют значения от 0.51231 до 0,51254 [Spadea et al., 2002], что указывает на мантийный источник магм.

В Северо-Ирендыкской подзоне, по широте, на 10 км севернее г. Сибай, откартирован Гадельшинский стратовулкан [Вулканизм ..., 1992]. В его составе в больших объемах присутствуют пироксен-оливин-порфи́ровые базальты с высокими концентрациями MgO и CaO, которые были диагностированы Е.В. Пушкаревым [2009; Пушкарев и др., 2011, 2015] как анкарамиты.

Анкарамиты — это высокомагнезиальные и высококальциевые оливин-пироксен-порфи́ровые породы, содержащие хром-диопсид, высокохромистую шпинель, что позволяет включать их в группу пород родственных Платиноносному вулканоплутоническому поясу Среднего Урала. На диаграмме Zr/Y–Nb/Y (рис. 2) большинство фигуративных точек этих пород расположено в поле плюмовых



**Рис. 2. Соотношения Zr/Y–Nb/Y [Fitton et al., 1997; Ernst et al., 2006] в вулканических комплексах позднеэмско-раннеэйфельского возраста Магнитогорской палеостроводужной мегазоны**

Условные обозначения: Вулканические комплексы: 1 — бурибайский, 2 — баймакский, 3 — макан-октябрьский, 4 — гайский, 5 — подольский, 6 — гадельшинский, 7 — гадилевский, 8 — рыскужинский, 9 — джусинский, 10 — домбаровский, 11 — джаилганский, 12 — трябиатский. Стандартные составы базальтов различных геодинамических обстановок: N-MORB — нормальные толеитовые базальты СОХ. Сокращения, источники: DEP — деплетированный; REC — рециклированный; EN — обогащенный; OIB — базальты океанических островов; UC — состав верхней коры; PM — примитивная мантия.

**Fig. 2. Ratios of Zr/Y–Nb/Y [Fitton et al., 1997; Ernst et al., 2006] in volcanic complexes of the Late Emsian-Early Eifelian age of the Magnitogorsk paleostructure megazone**

Legend: Volcanic complexes: 1 — Buribay, 2 — Baymak, 3 — Makano-October, 4 — Gay, 5 — Podolsk, 6 — Gadelshinsky, 7 — Godilewsky, 8 — Ryskujensky, 9 — Djusinsky, 10 — Dombarovo, 11 — Djalganski, 12 — Trebyatsky. Standard compositions of the basalts of various geodynamic settings: N-MORB — normal tholeiitic basalts MOR. The abbreviations, sources: DEP — depleted, REC — recycling, EN — enriched, OIB — basalts of oceanic islands, UC — composition of the upper crust, PM — primitive mantle.



составов рядом с источником примитивной мантии (PM) (рис. 2). В анкарамитах Гадельшинского участка обнаружены также реликты ранних минералов платиновой группы [Пушкарев, 2009; Пушкарев и др., 2015]. В дунитах Платиноносного пояса отмечается присутствие флогопита [Ферштатер, 2013], что обусловлено метасоматическим изменением пород под воздействием глубинных флюидов, богатых летучими компонентами. Такие перидотиты слагают вещество мантийных плюмов [Богатиков и др., 2010]. Для образования высокоизвестковистых ультраосновных магм необходима высокая степень частичного плавления верлитовой мантии [Пушкарев, 2000]. Для этого требуется очень высокотемпературный тепловой поток, который может обеспечить астеносферный диапир. Высокая степень плавления мантийного субстрата при формировании высокомагнезиально-кальциевых вулканитов анкарамитовой группы была подтверждена на диаграммах  $Yb-La/Yb$  [Косарев и др., 2005]. На этих диаграммах видно, что выплавление магм, исходных для вулканитов ирендыкской свиты Западно-Магнитогорской зоны, происходило в интервале степени плавления мантийного субстрата 18–45% [Косарев и др., 2005, рис. 3в]. Формирование высокомагнезиальных – высококальциевых магм происходило при максимальных степенях плавления мантийного субстрата, соответствующих (по интерполяции) 40–45%. По геохимическим характеристикам [Косарев и др., 2005] анкарамиты Гадельшинского и Кунакайского вулканов относятся в плюмовому типу. На рис. 2 они располагаются в поле плюмового источника, а на спайдердиаграммах [Косарев и др., 2005] в них отсутствуют негативные аномалии Nb.

*Южно-Ирендыкский палеовулканический комплекс* базальт-андезибазальт-андезит-дацит-риолитового состава получил развитие в южной части Ирендыкской структурной зоны в Бурибаевском и южной части Баймакского рудных районов. Наиболее детально этот комплекс изучен в пределах Подольского рудного поля, где нами реконструирован Подольский кальдера-вулкан с Подольским колчеданным месторождением в центре. Внутрикальдерный комплекс вулканитов имеет сложное строение с гетеродромной эволюцией составов [Вулканизм ..., 1992]. Снизу вверх по разрезу выделяются следующие толщи: 1 — дацит-риолитовая (рудовмещающая); 2 — кварцевых андезитов и андезибазальтов гибридного происхождения (надрудная); 3 — пиллоу-базальт-дацит-риодацитовая; 4 — андезибазальт-кварцево-андезит-риодацитовая;

5 — трахидацит-риолитовая калиево-натриевая, относящаяся к посткальдерному комплексу.

По петрохимическим и геохимическим материалам вулканиты нижних четырех толщ внутрикальдерного комплекса относятся к промежуточной между толеитовой островодужной и известково-щелочной сериями. Исключение составляют надрудные пиллоу-базальты третьей толщи, которые относятся к островодужной толеитовой серии. Отнесение к промежуточной («переходной») серии связано с тем, что кислые породы нижней толщи, кварцевые андезиты и андезибазальты второй и четвертой толщ не обнаруживают характерного для толеитовой серии накопления железа. В то же время эти породы имеют уровень концентраций Zr, Y, Ba, La, Sm, U, Th, характерный для толеитовых серий. При этом стиль распределения РЗЭ, с характерным накоплением легких лантаноидов относительно тяжелых, указывает на наличие у этих вулканитов известково-щелочных свойств. Базальты третьей толщи по своим геохимическим характеристикам, включая РЗЭ, относятся к островодужной толеитовой серии и к плюмовому типу (рис. 2), а кремнекислые породы той же толщи имеют широкий размах характеристик с параметрами как толеитовой, так и известково-щелочной серий. Примером таких серий в кайнозойских островных дугах могут служить вулканиты дуги Фиджи [Петрология ..., 1987].

Клинопироксены, образующие фенокристы в вулканитах ирендыкской свиты, изучены в пределах Южно-Ирендыкской и Северо-Ирендыкской подзон [Горожанина, 1991; Косарев и др., 2003]. В базальтах, андезибазальтах и андезитах Южно-Ирендыкской зоны установлены диопсиды, эндиопсиды и авгиты. В кварцевых риодацитах  $ir_3$  отношения  $^{87}Sr/^{86}Sr$  составляют 0.70309–0.70447.

В составе Кунакайского стратовулкана установлены, как и на Гадельшинском вулкане, заметные объемы анкарамитов. Отличительной чертой последних от гадельшинских являются повышенные концентрации в них кремнеза, достигающие  $SiO_2$  — 56.1%, пониженные концентрации  $MgO$  и  $CaO$ , повышенные — Sr (290 г/т). Близкие значения обнаруживает величина  $La/Yb$  (0.8 — Кунакай, 0.5 — Гадельша), что свидетельствует о высоких степенях плавления мантийного субстрата при образовании тех и других анкарамитов.

*Сукраковский трахидацитовый комплекс* ( $D_{2e,sk}$ ) завершает вулканический разрез Подольского кальдера-вулкана. Он сложен дацитами, риодацитами, в меньших количествах риолитами

и андезидацитами пирокластической, эффузивной, субвулканической и тефроидной фаций, часто с краснокаменными изменениями. Порфиновые выделения представлены плагиоклазом, редкими фенокристами роговой обманки, биотита, раннего титаномагнетита. Вулканиды имеют повышенную щелочность калиево-натриевого и натриевого типов, обнаруживают высокие значения отношения  $FeO/MgO$  характерные для толеитовых и субщелочных серий, повышенные концентрации Zr, La, U, Th, что позволяет отнести вулканиды этого комплекса к калиевой известково-щелочной серии, близкой к хорошо изученной в Западном поясе США [Эварт, 1983]. Отношения  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в трахидацитах, риодацитах сукраковского комплекса (образцы А.М. Косарева) варьируют от 0.7029 до 0.7046 [Бобохов и др., 1989].

Среди вулканидов ирендыкской свиты Южно-Ирендыкской подзоны концентрации и характер распределения РЗЭ позволяют выделить следующие петрогенетические серии: 1) толеитовую островодужную, к которой принадлежат надрудные пиллоу-базальты Подольского рудного поля, андезибазальты и андезиты Кунакайского вулкана и разреза г. Суурган, с низкими La/Yb отношениями, варьирующими от 0.82 до 2.13; 2) переходную от толеитовой островодужной к известково-щелочной; к ней относятся гибридные кварцевые андезиты и андезибазальты и часть кремнекислых пород с умеренными значениями La/Yb отношения (1.85–3.05) и слабым наклоном вариационных линий порода/хондрит; 3) известково-щелочную, к которой относятся обильно-плагиоклазовые глиноземистые базальты, андезибазальты и андезиты г. Ельбаш, кислые базокварцевые калиево-натриевые породы сукраковского комплекса и часть кремнекислых кварцосодержащих эффузивных и экструзивных пород, в которых La/Yb отношения варьируют от 2.52 до 6.2 [Вулканизм ..., 1992; Spadea et al., 2002].

Таким образом, кислые породы сукраковского комплекса представляют собой в геохимическом плане переходную ассоциацию от известково-щелочной к субщелочной (шошонитовой) серии.

Присутствие в разрезах отдельных вулканических сооружений, в частности, Подольского кальдера-вулкана, всего ряда пород по кислотности с различной сериальной принадлежностью и с признаками гибридизма свидетельствует о возникновении на этом этапе вулканизма в надсубдукционной зоне гирлянд промежуточных разноглубинных магматических очагов и зон выплавления магм, охватывающих мантийный клин и, возможно,

пограничную зону верхняя мантия–кора, где из субстрата с мантийными изотопными характеристиками, обогащенного субдукционной флюидной фазой, выплавлялись кремнекислые расплавы.

## Обсуждение

В пределах Южно-Ирендыкской структурно-формационной подзоны установлен зональный характер проявлений вулканизма. Зональность проявляется по нескольким признакам: 1 — с запада на восток омолаживается возраст вулканогенных толщ и проявлений эффузивных афировых и мелкопорфиновых толеитовых базальтов; 2 — на завершающем этапе вулканизма в Южно-Ирендыкской подзоне на западе сформировалась толща базальт-андезит-дацитового состава, принадлежащая толеитовой серии, на востоке в это же время формируются эльбашская толща, сложенная известково-щелочными глиноземистыми базальтами ( $Al_2O_3$  18–22%), андезибазальтами и андезитами, и сукраковский посткальдерный трахидацитовый комплекс, принадлежащий калиевой известково-щелочной серии переходной к субщелочной серии.

Все три рассмотренных вулканических комплекса первого, поздеэмско-раннеэйфельского, цикла (баймак-бурибаевский, верхнетаналыкский и ирендыкский) являются колчеданосными, и анализ закономерностей размещения колчеданного оруденения позволяет выделять не только цепочки вулканических сооружений и месторождений, вытянутых вдоль палеовулканических зон, но и более короткие цепочки древних подводных вулканов и колчеданных месторождений в них, ориентированных вкост вулканических зон [Косарев, Серавкин, 1994]. Авторы увязывают формирование вулканических комплексов, палеовулканов и колчеданных месторождений с процессом субдукции. Нам представляется, что цепочки месторождений можно рассматривать как след субдуцирующей плиты, отраженный на земной поверхности.

Наиболее представительный ряд колчеданных месторождений с омолаживающимся возрастом вмещающих комплексов изучен в Бурибайском рудном районе. С юго-запада на северо-восток в этом ряду располагаются следующие колчеданные месторождения: 1 — Ивановское, расположенное в Вознесенско-Присакмарской зоне в основании бурибайской толщи, 2 — Бурибайское, залегающее в риолит-базальтовой (баймак-бурибаевской) формации ( $D_1e_2br_3$ ); 3 — Маканское и Октябрьское в базальт-андезит-дацит-риодацитовой

(верхнетаналыкской) формации ( $D_1e_2vtn$ ); 4 — Подольское в андезибазальт-андезит-дацит-риолитовой гибридной субформации андезит-базальтовой (ирендыкской) формации ( $D_2ef_1ir_{1-2}$ ); 5 — Восточно-Подольское в трахидацитовой субформации андезит-базальтовой (ирендыкской) формации ( $D_2ef_1ir_3$ ). Расстояния между месторождениями составляют 18 км, 11 км, 9 км, 6 км. Близкие соотношения в размещении друг относительно друга обнаруживают месторождения Юбилейное–Вишневское, Майское–Балта-тау, Бакр-тау–Таш-тау–Юлалы. Судя по приведенным данным, субдукция в это время имела фронтальный характер, а субдукционная плита постепенно увеличивала угол наклона погружения.

Ирендыкская развитая островная дуга протягивается с севера на юг от города Карабаш Челябинской области до Гайского рудного поля в Оренбургской области, что составляет около 500 км.

На палеовулканологической карте хорошо видна цепочка стратовулканов, которая трассирует древнюю вулканическую зону.

От широты Гадельшинского стратовулкана на юг В.С. Шарфманом, А.Г. Волчковым, А.М. Косаревым откартированы, кроме названного Гадельшинского, Файзуллинский и Галеевский старатовулканы базальт-андезитового состава, Кунакайский анкармитсодержащий вулкан, Суурганское поле арельного кислого вулканизма, Подольский кальдеравулкан, Сукраковская трахидацитовая постройка, Гадилевский анкармитсодержащий вулкан и Сагитовский стратовулкан [Среднепалеозойский ..., 1983; Вулканизм ..., 1992]. В зоне ГУР анкармиты известны на Абзаковском участке в 10 км южнее Вознесенского Au-Cu-порфирирового месторождения [Пушкарев и др., 2015].

По эмпирическим геохимическим материалам, вслед за Дж.Г. Фиттоном и др. [Fitton et al., 1997] и Р.И. Эрнстом и др. [Ernst et al., 2006] (рис. 2), нами для вулканитов Ирендыкской островной дуги проведен геохимический анализ и выделены плюмовые и неплюмовые типы базальтов. К плюмовому типу отнесены все проанализированные пробы анкармитов, а также субщелочные базальты Файзуллинского вулкана, толеитовые островодужные базальты ( $ir_3$ ) Подольского кальдера-вулкана, магнезиальные толеитовые базальты Северо-Маканского участка. В бурибайском вулканическом комплексе в низах разреза установлено присутствие базальтов — аналогов ОРВ, являющихся периферической фацией океанических горячих точек. В Ирендыкской развитой островной дуге вулканические постройки,

содержащие базальты плюмового типа, образуют «цепочку» протяженностью около 100 км от Гадельшинского до Гадилевского вулканического сооружения. На Гадельшинском участке в процессе отработки золотоносных россыпей установлено также присутствие платины, источником которой, скорее всего, являются анкармиты Гадельшинского стратовулкана.

## Выводы

1. Развитая Ирендыкская островная дуга представляет собой вулканический пояс раннеэйфельского возраста, который сформировался над зоной субдукции восточного падения.

2. Доказательством надсубдукционного происхождения большинства вулканитов являются геохимические характеристики вулканитов, относящиеся к низкотитанистому типу с негативными геохимическими аномалиями Nb, Ta, Zr, Hf и с позитивными геохимическими аномалиями Sr.

3. Принадлежность анкармитов и некоторых толеитовых базальтов Ирендыкской островной дуги к плюмовому типу показывает сложный характер формирования исходных магм Ирендыкской островной дуги и необходимость их дальнейшего изучения.

*Работа выполнена в рамках программы государственного задания ИГ УФИЦ РАН (№ 0246-2019-0078).*

## Список литературы:

- Бобохов А.С., Горожанин В.М., Кузьмин С.А. Стронцио-изотопные данные для кислых вулканитов Магнитогорского мегасинклинория Южного Урала: Препр. Уфа. 1989. 24 с.
- Богатиков О.А., Цветков А.А. Магматическая эволюция островных дуг. М.: Наука, 1988. 248 с.
- Богатиков О.А., Коваленко В.И., Шарков Е.В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. Связь во времени и в пространстве. М.: Наука, 2010. 606 с.
- Вулканизм Южного Урала / И.Б. Серавкин., А.М. Косарев, Д.Н. Салихов, С.Е. Знаменский, З.И. Родичева, М.В. Рыкус, В.И. Сначев. М.: Наука, 1992. 197 с.
- Горожанина Е.Н. Ирендыкский островодужный (порфиритовый) комплекс среднего девона Южного Урала: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Свердловск, 1991. 22 с.
- Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В., Херрингтон Р. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 315 с.



Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю., Артемьев Д.А., Юминов А.М., Симонов В.А., Дунаев А.Ю. Геология и колчеданное оруденение южного фланга Главного Уральского разлома. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. 376 с.

Косарев А.М. Магнезиальные базальты и бонинитовые вариолиты баймак-бурибаевской свиты (Южный Урал) // Геология и перспективы расширения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий. Уфа, 2001. С. 227–240.

Косарев А.М., Серавкин И.Б. Колчеданоносные островные дуги Южного Урала и модель малоглубинных плюмов // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит: Тез. Докл. 1-го Всерос. металлогенич. совещ. Екатеринбург, 1994. С. 197–198.

Косарев А.М., Серавкин И.Б. Тубинско-Гайский пояс: закономерности формирования и размещения колчеданного оруденения в свете новых петролого-геохимических данных по составу рудовмещающих комплексов // Геологический вестник. 2018. № 2. С. 36–57. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-3>.

Косарев А.М., Знаменский С.Е., Серавкин И.Б., Родищева З.И. Особенности химизма вулканитов Вознесенско-Присакмарской зоны // Геологический сборник № 3 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2003. С. 152–161.

Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. 2005.–№ 4. С. 22–42.

Маслов В.А., Артюшкова О.В. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 288 с.

Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей / Под ред. О.А. Богатикова и др. М.: Наука, 1987. 335 с.

Пушкарев Е.В. Петрология Уктусского дунит-клинопироксенит-габбрового массива (Средний Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 296 с.

Пушкарев Е.В. Анкарамиты – родоначальные расплавы дунит-клинопироксенит-тылаитовых комплексов Урало-Аляскинского типа. Аналоги анкарамитов на Урале // Петрогенез и рудообразование. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2009. С. 110–111.

Пушкарев Е.В., Готтман И.А., Прибавкин С.В., Косарев А.М. Эффузивные субвулканические анкарамиты девонских островодужных свит Урала: вещественная характеристика, генезис и геологические следствия // Тектоника, рудные месторождения и глубинное строение земной коры: Матер. Всерос. научной конф., посвященной 100-летию С.Н. Иванова. Екатеринбург, 2011. С. 219–223.

Пушкарев Е.В., Каменецкий В.С., Готтман И.А., Рязанцев А.В., Прибавкин С.В. Анкарамиты Урала — примитивные высокоизвестковистые островодужные магмы (состав и геологические приложения) // Петрография магматических и метаморфических горных пород: 12-е Всерос. петрограф. совещ., 15–20 сент. 2015 г. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2015. С. 220–222.

Серавкин И.Б. Вулканогенные колчеданные месторождения Южного Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование / Отв. ред. Н.П. Юшкин, В.Н. Сазонов. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2007. С. 638–669.

Среднепалеозойский вулканизм Башкирского Зауралья и связь с ним колчеданного оруденения. Уфа: БФАН СССР, 1983. 116 с.

Феритатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.

Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. М.: Изд-во МГУ, 1997. 320 с.

Эварт А. Минералогия и химизм третичных и современных дацитовых, риолитовых и родственных салических вулканитов // Трондjemиты, дациты и связанные с ними породы. М.: Мир, 1983. С. 19–99.

Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник № 5 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2006. С. 119–161.

Fitton J.G., Saunders A.D., Norry M.J., Hardarson B.S., Taylor R.N. Thermal and chemical structure of the Iceland plume // Earth and Planetary Science Letters. 1997. Vol. 153. P. 197–208.

Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D. Arc-continent collision in the Southern Urals: Petrogenetic aspects of the Forearc–arc Complex // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present: Geophysical Monograph. 2002. No. 132. P. 101–134. DOI: 10.1029/132GM07.

## References:

Bobokhov A.S., Gorozhanin V.M., Kuz'min S.A. (1989) *Strontisievo-izotopnye dannye dlya kislykh vulkanitov Magnitogorskogo megasinklinoriya Juzhnogo Urala. Preprint doklada Prezidiumu BNTs UrO AN SSSR* [Strontium isotope data for acid volcanic rocks of the Magnitogorsk megasynclorium of the Southern Urals. Preprint of the report to the Presidium of the BNTs Uro of the USSR Academy of Sciences]. Ufa, 24 p. (In Russian).

Bogatikov O.A., Tsvetkov A.A. (1988) *Magmaticheskaya evoljutsiya ostrovnykh dug* [Magmatic evolution of island arc]. Moscow, Nauka Publ., 248 p. (In Russian).

Bogatikov O.A., Kovalenko V.I., Sharkov E.V. (2010) *Magmatizm, tektonika, geodinamika Zemli. Svyaz' vo vremeni i v prostranstve* [Magmatism, Tectonics, Geodynamics of Earth. Time and Space Relationship]. Moscow, Nauka Publ., 606 p. (In Russian).

Evart A. (1983) Mineralogy and chemistry of the Tertiary-Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic volcanic rocks. *Trondjemity, datsity i svyazannye s nimi porody. Pod red F.Barkera* [Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks (Ed. F. Barker)]. M.: Mir Publ., 19-98. (In Russian).

Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M. (2006) Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the



East European Craton, Southern Urals, Russia. *Geologicheskii Sbornik No. 5* [Geological collection No. 5]. Ufa, 119-161.

Fershtater G.B. (2013) *Paleozoiskii intruzivnyi magmatizm Srednego i Yuzhnogo Urala* [Paleozoic intrusive magmatism of the Middle and South Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 368 p. (In Russian).

Fitton J.G., Saunders A.D., Norry M.J., Hardarson B.S., and Taylor R.N. (1997) Thermal and chemical structure of the Iceland plume. *Earth and Planetary Science Letters*, **153**, 197-208.

Frolova T.I., Burikova I.A. (1997) *Magmaticheskie formatsii sovremennykh geotektonicheskikh obstanovok* [Magmatic Formations of Modern Geotectonic Environments]. Moscow, MGU Publ., 320 p. (In Russian).

Gorozhanina E.N. (1991) *Irendykskiy ostrovoduzhnyy (porfiritovyy) kompleks srednego devona Juzhnogo Urala. Avtoref. dis. cand. geol.-min. nauk* [Irendyk island arc (porphyry) complex of the Middle Devonian of the Southern Urals. Extended abstr. Cand. geol. and min. sci. diss.]. Sverdlovsk, 22 p. (In Russian).

Kosarev A.M. (2001) Magnesium basalts and boninitic variolites Baimak-Buribai Formation (Southern Urals). *Geologiya i perspektivnyi rasshireniya syirevoy bazyi Bashkortostana i sopredelnykh territoriy* [Geology and prospects for expanding the raw material base of Bashkortostan and neighboring territories]. Ufa, 227-240. (In Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B. (1994) The massive sulfide-bearing island arcs of the Southern Urals and the shallow plume model. *Metallogeniya skladchatykh sistem s pozitsii tektoniki plit. Tezisy dokladov I Vserossiiskogo metallogenicheskogo soveshchaniya* [Metallogeny of folded systems from the standpoint of plate tectonics. Abstracts. Dokl. 1st All-Russian metallogenic meeting]. Ekaterinburg, 197-198. (In Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B. (2018) Tubinsk-Gai belt: regularities in the formation and location of massive sulfide mineralization in the light of new petrological-geochemical data on the composition of ore-bearing complexes. *Geologicheskii vestnik – Geological Bulletin*, (2), 36-57. DOI: 10.31084/2619-0087/2018-2-3. (In Russian).

Kosarev A.M., Znamenskii S.E., Seravkin I.B., Rodicheva Z.I. (2003) Features of the chemistry of the volcanic rocks of Voznesenka-Prisakmara zone. *Geologicheskii sbornik No. 3* [Geological collection No. 3]. Ufa, IG UNTs RAN, 152-161. (In Russian).

Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. (2005) Petrological-geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island-arc volcanites of the Magnitogorsk zone in a geodynamic context. *Litosfera*, (4), 22-42. (In Russian).

Maslov V.A., Artjushkova O.V. (2010) *Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozheniy Magnitogorskoy megazonny Juzhnogo Urala* [Stratigraphy and correlation of Devonian sedimentary rocks in the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals]. Ufa, DizaynPoligrafServis Publ., 288 p. (In Russian).

*Petrologiya i geokhimiya ostrovnykh dug i okrainnykh morey* [Petrology and geochemistry of island arcs and marginal seas] (1987) Ed. O.A. Bogatikov et al. Moscow, Nauka Publ., 335 p. (In Russian).

Pushkarev E.V. (2000) *Petrologiya Uktusskogo dunit-klinopiroksenit-gabbrovogo massiva (Srednii Ural)* [Petrology of the Uktus dunite-clinopyroxenite-gabbro massif (the Middle Urals)]. Ekaterinburg, 296 p. (In Russian).

Pushkarev E.V. (2009) Ankaramites — initial melts of dunite-clinopyroxenite-tylaite complexes of the Ural-Alaskan type. Analogs of ankaramites in the Urals. *Petrogenез i rudo-obrazovanie* [Petrogenesis and ore formation]. Yekaterinburg: IGG UrO RAN Publ., 110-111. (In Russian).

Pushkarev E.V., Gottman I.A., Pribavkin S.V., Kosarev A.M. (2011) Effusive subvolcanic ankaramites of the Devonian island-arc formations of the Urals: material characteristics, genesis and geological consequences. *Tektonika, rudnye mestorozhdeniya i glubinnoe stroenie zemnoi kory. Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu S.N. Ivanova* [Tectonics, ore deposits and deep structure of the earth's crust. Materials of the all-Russian scientific conference dedicated to the 100th anniversary of S.N. Ivanov]. Ekaterinburg, 219-223. (In Russian).

Pushkarev E.V., Kamenetskii V.S., Gottman I.A., Ryazan-tsev A.V., Pribavkin S.V. (2015) Ankaramites of the Urals — primitive highly calcareous island-arc magmas (composition and geological applications). *Petrografiya magmaticheskikh i metamorficheskikh gornyykh porod. XII Vserossiiskoe petrograficheskoe soveshchaniye. 15-20 sentyabrya 2015 goda* [Petrography of magmatic and metamorphic rocks. XII all-Russian petrographic meeting. September 15-20, 2015]. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of RAS, 220-222. (In Russian).

Seravkin I.B. (2007) [Volcanogenic pyrite deposits of the Southern Urals]. *Geodinamika, magmatizm, metamorfizm i rudo-obrazovanie* [Geodynamics, magmatism, metamorphism and ore formation. Ed. N.P. Yushkin, V.N. Sazonov]. Ekaterinburg: IGG UB RAS, 638-669. (In Russian).

Seravkin I.B., Kosarev A.M., Salihov D.N., Znamenskii S.E., Rodicheva Z.I., Rykus M.V., Snachev V.I. (1992) *Vulkanizm Juzhnogo Urala* [Volcanism of Southern Urals]. Moscow, Nauka, 197 p. (In Russian).

Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D. (2002) Arc-continent collision in the Southern Urals: Petrogenetic aspects of the Forearc-arc Complex. *Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. Geophysical Monograph*, **132**, 101-134. DOI: 10.1029/132GM07.

*Srednepaleozoyskiy vulkanizm Bashkirkogo Zaural'ya i svyaz' s nim kolchedannogo orudneniya* [Middle Paleozoic volcanism of Bashkir Trans Ural region and related massive sulfide mineralization] (1983) Ufa: BFAN SSSR Publ., 116 p. (In Russian).

Zaykov V.V., Maslennikov V.V., Zaykova E.V., Kherring-ton R. (2001) *Rudno-formatsionnyy i rudno-fatsial'nyy analiz kolchedannykh mestorozhdeniy Ural'skogo paleookeana* [Ore-formation and ore-facial analysis of base metal massive sulphide deposits of the Ural PaleoOcean]. Miass: IMin UrO RAN, 315 p. (In Russian).

Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Artem'ev D.A., Simonov V.A., Yuminov A.M., Dunaev A.Yu. (2009) *Geologiya i kolchedannoe orudnenie yuzhnogo flanga Glavnogo Ural'skogo razloma* [Geology and massive sulphide mineralization of the southern flank of the Main Ural Fault]. Miass, IMin UrO RAN, 376 p. (In Russian).

*Сведения об авторах:*

**Косарев Александр Михайлович**, кандидат геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: amkosarev@mail.ru

**Шафигуллина Гульнара Турдibaевна**, кандидат геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа; E-mail: shafigullina\_g@mail.ru

**Минибаева Карина Раисовна**, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа.

*About the authors:*

**Kosarev Alexandr Michailovich**, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: amkosarev@mail.ru

**Shafigullina Gulnara Turdibaevna**, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: shafigullina\_g@mail.ru

**Minibaeva Karina Raisovna**, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa