
Научная статья

УДК 553.41: 552.11

DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-6

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ СИЛУРИЙСКО-РАННЕДЕВОНСКОГО ВУЛКАНИЗМА НА СЕВЕРЕ САКМАРСКОЙ ЗОНЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А. М. Косарев¹, Е. А. Тимофеева¹, Г. Т. Шафигуллина¹, С. А. Даниленко²

1 — Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, amkosarev@mail.ru

2 — ООО «Оникс», г. Уфа, ds-min@yandex.ru

В работе дана характеристика карамолинского и блявинского вулканических комплексов, которые выделены И. А. Смирновой, В. Л. Черкасовым, В. Т. Тищенко, И. Б. Серавкиным в Медногорском районе в ранге толщи и свиты. На основании находок граптолитов в известняках и кремнисто-глинистых сланцах, образующих прослой среди пиллоу-базальтов и массивных базальтовых потоков, карамолинская толща датирована средним — верхним лландовери. По наличию фациального замещения карамолинской толщи кремнистыми породами сакмарской свиты, возраст карамолинской толщи принят S — D₁. Карамолинская толща (по А. Д. Петровскому, Л. Д. Чегодаеву) отождествляется с блявинской свитой. Нами предлагается базальты южной стенки Блявинского карьера и их аналоги, содержащие прослой кремнистых пород с граптолитами (S₁) включить в состав карамолинской толщи, а рудовмещающий разрез Блявинского и Комсомольского месторождений с низкотитанистыми базальтами и кислыми полифациальными породами отнести к блявинской свите (S — D₁). Обсуждаются геодинамические условия формирования карамолинской толщи и блявинской свиты. Рассмотрены материалы по составу и возрасту карамолинской свиты максютовского комплекса и колчеданного оруденения Юлукской группы месторождений зоны Уралтау. Сделан вывод о возможности частичного сопоставления толщ максютовского комплекса и силуру-раннедевонских вулканогенных колчеданосных толщ Медногорского рудного района.

Ключевые слова: Южный Урал, Сакмарская зона, карамолинская толща, блявинская свита, максютовский комплекс, титанистость базальтов, субдукция, чанчарский комплекс, колчеданное оруденение

Благодарности: Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН (FMRS-2022-0011).

Для цитирования: А. М. Косарев, Е. А. Тимофеева, Г. Т. Шафигуллина, С. А. Даниленко. Геодинамические обстановки силурийско-раннедевонского вулканизма на севере Сакмарской зоны (Южный Урал) // Геологический вестник. 2023. № 3. С. 59–73. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-6

For citation: A. M. Kosarev, E. A. Timofeeva, G. T. Shafigullina, S. A. Danilenko (2023) Geodynamic settings of Silurian — Early Devonian volcanism in the north of the Sakmara zone (the Southern Urals). *Geologicheskii vestnik*. 2023. No. 3. P. 59–73. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-6

© А. М. Косарев, Е. А. Тимофеева, Г. Т. Шафигуллина, С. А. Даниленко, 2023

Original article

GEODYNAMIC SETTINGS OF SILURIAN — EARLY DEVONIAN VOLCANISM IN THE NORTH OF THE SAKMARA ZONE (THE SOUTHERN URALS)

A. M. Kosarev¹, E. A. Timofeeva¹, G. T. Shafigullina¹, S. A. Danilenko²

1 — Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia, amkosarev@mail.ru

2 — LLC «Onix», Ufa, ds-min@yandex.ru

The work provides characteristics of the Karamolinsky and Blyavinsky volcanic complexes, which were identified by I. A. Smirnova, V. L. Cherkasov, V. T. Tishchenko, I. B. Seravkin in the Mednogorsk region in the rank of strata. Based on findings of graptolites in limestones and siliceous shales, intercalations among pillow basalts and massive basaltic flows, the sequence is dated as the Middle to Upper Llandoveryan. Based on the presence of facies replacement of the Karamolinsky sequence with siliceous rocks of the Sakmara Formation, the age of the Karamolinsky sequence is assumed to be S — D₁. The Karamolinsky sequence (according to A. D. Petrovsky, L. D. Chegodaev) is identified with the Blyavinsky formation. We propose that the basalts of the southern wall of the Blyavinsky quarry and their analogues containing interlayers of siliceous rocks with graptolites (S₁) be included in the Karamolinsky sequence and Blyavinsky formation, and the ore-hosting section of the Blyavinsky and Komsomolsk deposits with low-titanium basalts and acidic polyfacial rocks, is classified as the Blyavinsky formation (S — D₁). The geodynamic conditions for the formation of the Karamolinsky strata are discussed. Materials on the composition and age of the Karamolinsky formation of the Maksyutov complex and pyrite mineralization of the Yuluk group of deposits in the Uraltau zone are considered. It is concluded that it is possible to partially compare the strata of the Maksyutov complex and the Silurian-Early Devonian volcanic sulfide-bearing strata of the Mednogorsk ore region.

Keywords: Southern Urals, Sakmara zone, Karamolinsky sequence, Blyavinsky formation, Maksyutov complex, titanium content of basalts, subduction, Chanchar complex, massive sulfide mineralization

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the State Assignment of IG UFIC RAS (FMRS-2022-0011).

Введение

Анализ петрохимических и геохимических материалов по вулканитам Медногорского рудного района [Серавкин, Родичева, 1990; Даниленко, 1991; Серавкин и др., 1992; Рязанцев и др., 2005; Борисенко, Рязанцев, 2005; Косарев, 2015] показал, что в составе ордовик-раннедевонских вулканических базальтоидных комплексов Сакмарской зоны имеется два петролого-геохимических типа. **Первый тип**, сложенный базальтами высоко-, умереннотитанистого состава ($TiO_2 = 1.45-3.25$ мас. %) включает медногорский (С), баулуский (O_{1,2}), дергаишский (S₁ln), карамолинский (S — D₁) вулканические комплексы; **второй тип**, представленный низкотитанистыми базальтоидами блявинского (S — D₁) и чанчарского (D₁e₁) комплексов ($TiO_2 \leq 1.2$ мас. %) и интрузивными комагматами чанчарского комплекса. Чанчарский (D₁e₁) комплекс относится к щелочной и шошонитовой сериям. В число низкотитанистых базальтоидных комплексов мы включаем блявинскую свиту, вмеща-

ющую Блявинское и Комсомольское колчеданные месторождения. Нижняя (1) и верхняя (3) толщи блявинской свиты сложены базальтами, средняя толща (2) сложена полифациальными кислыми породами, содержащими залежи колчеданных руд вышеназванных месторождений [Бельков, 1978; Даниленко, 1991].

Верхнюю (4) надрудную толщу, сложенную пиллоу-базальтами и долеритами умереннотитанистого состава с прослоями кремнисто-глинистых пород с граптолитами (S₁ln), мы предлагаем включить в состав карамолинского комплекса (S — D₁). Таким образом, нижняя часть формационного ряда кембро-ордовикско-силурийского возраста, представлена медногорским и баулуским комплексами стадий континентального и океанического рифтогенеза, а также карамолинским комплексом, относящимся к переходной субокеанической стадии — заложения зоны субдукции.

Верхнюю часть формационного ряда вулканических комплексов слагают блявинский (S — D₁) ру-

довмещающий и чанчарский ($D_{1c,sp} — e_1$) вулканические комплексы.

По нашему мнению к блявинской свите следует относить только рудовмещающий колчеданные месторождения комплекс, сложенный низкотитанистыми базальтами островодужного типа и кислыми натриевыми породами полифациального состава, залегающими в подрудной и частью в надрудной зонах Блявинского и Комсомольского колчеданных месторождений [Бельков, 1978; Даниленко, 1991].

Карамолинский палеовулканический комплекс силурийско-раннедевонского возраста

Карамолинский палеовулканический комплекс силурийско-раннедевонского ($S_2 — D_1$) возраста выделен в Медногорском рудном районе Сакмарской зоны в ранге толщи или свиты [Каракулина, Никитин, 1985; Смирнова и др., 1986; Серавкин, Родичева, 1990; Серавкин и др., 1992]

По содержаниям TiO_2 (1.5–2.0 мас. %) карамолинские базальты примыкают к комплексам рифтогенных океанических базальтов баулуского комплекса. И. А. Смирнова с соавторами [1986] пишут, что карамолинская толща (блявинская свита по А. Д. Петровскому, Л. Д. Чегодаеву), сложена базальтами, спилитами, вариолитами, диабазами, горизонтами кремнистых сланцев с линзами и тонкими ленточными прослоями песчаников и темно-серых, черных граптолитовых известняков с фауной нижнего лландовери.

Для карамолинской толщи характерна пространственная фациальная ассоциация с серпентинитами, фтанитами и эдафогенными брекчиями серпентинизированных ультрабазитов [Руженцев, 1976; Серавкин и др., 1992]. В геологическом разрезе у дер. Чураево кремнистые породы и базальты залегают на поверхности офиолитовых пластин со стратиграфическим контактом [Серавкин, Родичева, 1990]. Изложенные сведения позволяют предполагать, что в верхнесилурийско-раннедевонское время, в период формирования разреза карамолинского комплекса, происходило взламывание океанической коры, внедрение и вывод на морское дно протрузий ультрабазитов, их разрушение и образование эдафогенных брекчий. Эти процессы весьма характерны для формирующихся глубоководных желобов в период заложения и начала активной фазы субдукции [Мурдмаа, 1987; Хаин, Ломизе, 2005].

Основные породы этой толщи представлены двумя разновидностями [Серавкин, Родичева, 1990;

Серавкин и др., 1992]: 1 — пиллоу базальты; 2 — долерито-базальты, вплоть до мелкокристаллических габбро-диабазов, слагающих потоки, силлы и штоки. По суммарной щелочности карамолинские базальты относятся к нормальнощелочной и умереннощелочной натриевой сериям. Содержание железа ($FeO+Fe_2O_3$) повышенное, в среднем составе 15.5 мас. %, на диаграмме Миаширо ($SiO_2 — FeO^*/MgO$) эти базальты относятся к толеитовой серии. Содержания TiO_2 , усредненные значения, колеблются от 1.5 до 2.7 мас. %, что показывает их сопоставимость с основными породами баулуского комплекса. Содержания редких элементов группы железа (Ni 14–86 г/т; Cr 10–230 г/т; Co <10–49 г/т) характерны для толеитовых серий. Кроме того присутствуют базальты с пониженными (не магматическими) содержаниями Cr , Ni , Co , MgO (в среднем 1.9 мас. %), что свидетельствует о воздействии процессов аллохимического метаморфизма с выносом MgO , Cr , Ni , Co .

Карамолинские базальты обнаруживают сходство с базальтами ОРВ и с базальтами внутриплитного типа, присутствующими среди вулканитов баймак-бурибайской свиты в нижней части разреза по реке Таналык у деревни Хворостянки [Косарев и др., 2018].

На диаграмме $Cr-Ti$ (рис. 1) настоящей работы базальты карамолинской толщи располагаются на разделительной линии океанических и островодужных базальтов и частично в полях базальтов этих геодинамических обстановок. В островодужном (II) поле оказываются базальты с ультранизкими концентрациями Cr (5–30 г/т), что, как отмечалось выше, скорее всего, связано с аллохимическим характером вторичных изменений (с выносом Cr) и не соответствует первичным концентрациям этого элемента.

В разрезе карамолинской толщи обращает на себя внимание ассоциация пород офиолитового комплекса. Преобладающие умереннотитанистые базальты (см. рис. 1) на диаграмме Миаширо ($SiO — FeO^*/MgO$) располагаются в поле толеитовой серии, содержания MgO варьируют в интервале от 3.6 до 8 мас. %; на диаграмме $Mn — Ti — P$ они попадают в поле толеитов островных дуг и COX и изредка в поле океанических плато-базальтов (ОРВ). На геодинамической диаграмме Пирса ($Nb/Yb — Th/Yb$) карамолинские базальты приурочены к переходной зоне ($II' — II''$) вблизи базальтов (ниже разделительной линии полей I и II) EMORB и ОРВ. В координатах $Zr/Y — Nb/Y$ (рис. 2) [Fitton et al., 1997] эти базальты оказываются в плюмовом поле, вблизи источника «примитивная мантия». А на диаграмме В. В. Холоднова и др.

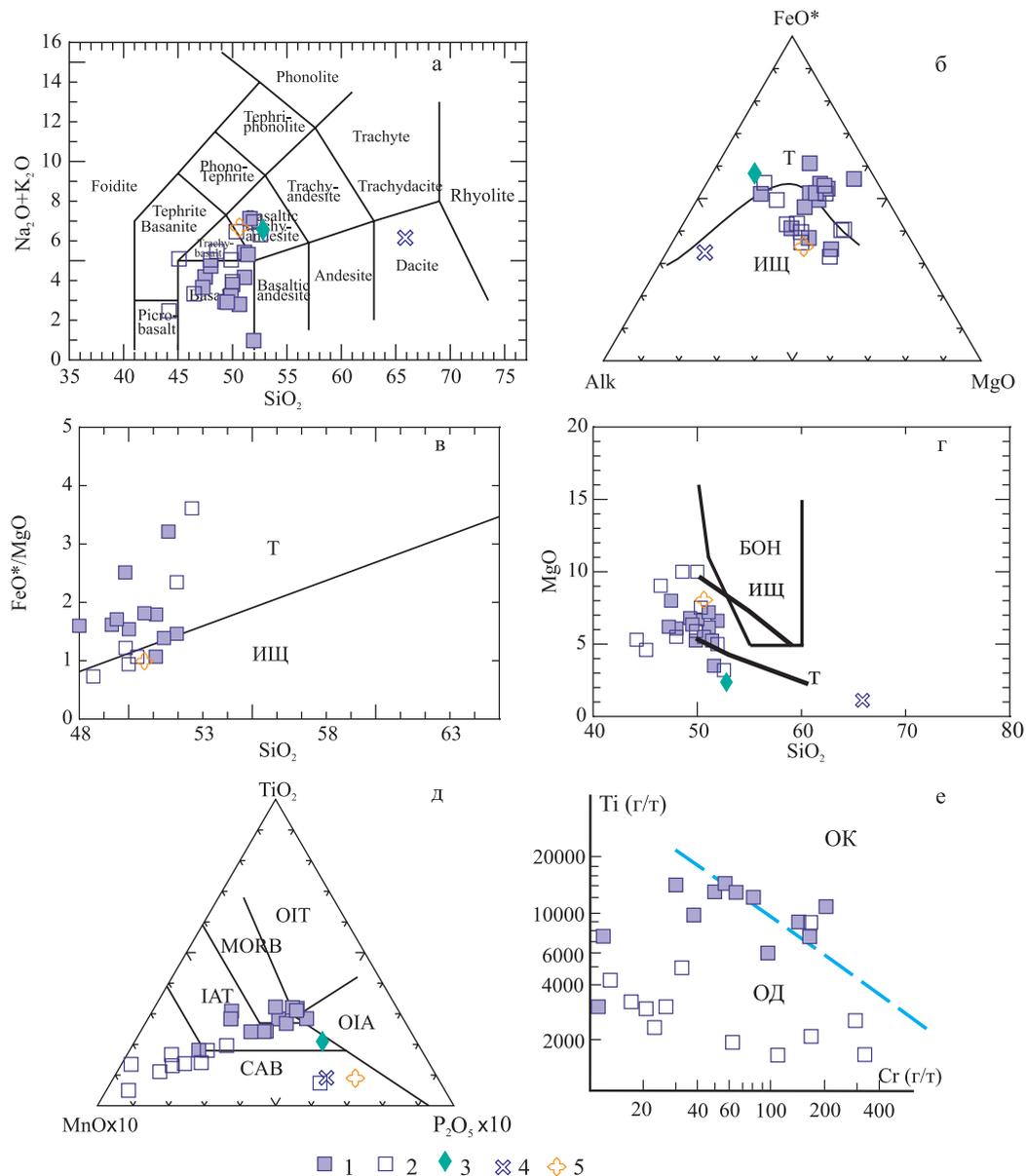


Рис. 1. Петрохимические особенности карамолинской и блявинской свит. Диаграммы TAS (а), AFM (б), SiO_2 — FeO^*/MgO (в), SiO_2 — MgO (г), $\text{MnOx}10$ — TiO_2 — $\text{P}_2\text{O}_5 \times 10$ (д), $\text{Ti}/1000$ — V (д), Cr — Ti (е)

Условные обозначения: 1 — базальты карамолинского комплекса, 2 — базальты блявинского комплекса, 3 — образец Т-4Б (баймак-бурибаевский комплекс), 4–5 — средние составы пород [Фролова, Бурикова, 1997]: 4 — средний состав кислых пород известково-щелочных серий Камчатской островной дуги, 5 — средний состав пород умереннощелочной (шошонитовой) серии Курильской островной дуги.

Сокращения: MORB — базальты СОХ; IAT — толеитовые базальты островных дуг; CAB — известково-щелочные базальты; OIT — толеиты океанических островов; OIA — океанические островные дуги; ОК — поля океанических базальтов; ОД — поля островных дуг; БОН — бонинитовая; ИЩ — известково-щелочная, Т — толеитовая серии

Fig. 1. Petrochemical features of the Karamolinsky and Blyavinsky Formations Diagrams TAS (a), AFM (б), SiO_2 — FeO^*/MgO (в), SiO_2 — MgO (г), $\text{MnOx}10$ — TiO_2 — $\text{P}_2\text{O}_5 \times 10$ (д), $\text{Ti}/1000$ — V (д), Cr — Ti (е)

Legend: 1 — basalts of the Karamolinsky complex, 2 — basalts of the Blyavinsky complex, 3 — sample T-4B (Baymak-Buribay complex), 4–5 — average compositions of rocks [Frolova, Burikova, 1997]: 4 — the average composition of acidic rocks of the calc-alkaline series of the Kamchatka island arc, 5 — the average composition of the rocks of the moderately alkaline (shoshonitic) series of the Kuril island arc.

Abbreviations: MORB — MOR basalts; IAT— tholeiitic basalts of island arcs; CAB — calc-alkaline basalts; OIT — tholeiites of oceanic islands; OIA — oceanic island arcs; ОК — fields of oceanic basalts; ОД — island arc fields; BON — boninitic; ИЩ — calc-alkaline, Т — tholeiitic series.

[2021] находятся в координатах Nb — Y, в секторе с отношением Nb/Y = 3, вблизи стандарта EMORB.

Химические составы базальтов Блявинского карьера, включенных в карамолинскую толщу (см. рис. 2) в координатах Nb/Yb — Th/Yb [Pearce, 2008] находятся в поле II, переходном от океанического типа вулканитов к островодужному, вблизи стандарта (в поле I) базальтов EMORB. В координатах Zr/Y — Nb/Y (см. рис. 2) [Fitton et al., 1997] базальты верхней надрудной толщи приурочены к полю плюмового источника, а на диаграмме В. В. Холоднова и др. [2021] к полю II со стандартом EMORB. Типовые базальты EMORB и OPB связаны с магматическими проявлениями плюмового типа [Семенов, 2000; Коротеев, Семенов, 2008; Богатиков и др., 2010]. Приведенные сведения указывают на то, что в силурийское время в Сакмарской зоне широкое распространение получил базальтовый вулканизм, в петрогенезе которого участвовали плюмовые источники.

Подводя итог, можно констатировать, что вулканогенная карамолинская толща, сложенная породами офиолитовой ассоциации, по петрохимическим геохимическим материалам относится к нормально- и умереннощелочной сериям, имеет признаки участия плюмового вещества в петрогенезе базальтов. Это, видимо, подтверждает нашу точку зрения на карамолинскую толщу как вулканогенно-интрузивный комплекс периода заложения силурийско-раннеэемской зоны субдукции.

Ассоциация базальтов обогащенного (EMORB, OPB) типов с эдафогенными брекчиями серпентинизированных ультрабазитов, с кремнистыми серыми и черными породами и с линзами серпентинитов весьма характерна для обстановок глубоководного желоба, «взламывания» океанической коры и заложения зоны субдукции [Мурдмаа, 1987; Хаин, Ломизе, 2005].

Блявинский палеовулканический комплекс (S₂₂ — D₁) Медногорского рудного района Сакмарской зоны

Блявинский вулканический комплекс изучен фрагментарно в юго-восточной стенке Блявинского карьера, по керну скважин Блявинского и Комсомольского колчеданных месторождений [Бельков, 1978; Даниленко, 1991; Серавкин, Родичева, 1990; Серавкин и др., 1992]. В верхней части геологического разреза (уступы 1–6) южной стенке Блявинского карьера залегает толща (S₁) умереннотитанистых базальтов

[Серавкин, Родичева, 1990] (TiO₂ 1.44–1.98 мас. %), которая содержит прослой кремнисто-глинистых сланцев, содержащих раннесилурийские граптолиты [Бородаев и др., 1963]. Ниже этой толщи, с тектоническим контактом, залегают низкотитанистые базальты (3^я толща) блявинского комплекса (7 уступ в юго-восточном углу Блявинского карьера). Еще ниже залегает вторая кислая полифациальная толща, вмещающая колчеданную рудную залежь. А под кислой толщей залегает первая толща блявинского комплекса, сложенная островодужными низкотитанистыми базальтами. Такой разрез блявинского комплекса установлен Н. В. Бельковым [1978], С. А. Даниленко [1991] по результатам изучения Блявинского карьера и керна скважин Блявинского и Комсомольского рудных полей. По результатам обобщения геологических материалов И. Б. Серавкин считает, что блявинская свита (комплекс) состоит из переслаивающихся базальтов островодужного низкотитанистого типа и кислых вулканических пород, включая и экстрезивно-субвулканические фации.

Химические составы базальтов блявинской свиты вынесены на петрохимические и геохимические диаграммы (рис. 1, 2). Базальты представлены мелкопорфировыми пиллоу-базальтами нормальной и умеренной щелочности, с замещенными вторичными минералами — пироксенами и альбитизированными плагиоклазами. На петрохимических диаграммах AFM и Миширо базальты располагаются в полях толеитовой и известково-щелочной серий (рис. 1 а, б, в, г). На диаграмме MnO-TiO₂-P₂O₅ (рис. 1 д) большинство точек попадают в поле известково-щелочных составов. На графике Sr-Ti содержания TiO₂ (0.43–1.20 мас. %) в базальтах надрудной толщи блявинского вулканического комплекса [Серавкин, Родичева, 1990, Даниленко, 1991, Косарев, 2015] соответствуют характеристикам островодужных надсубдукционных базальтов [Авдейко и др., 2006, Богатиков и др., 2010].

На диаграмме Пирса [Pearce, 2008] составы базальтов блявинского комплекса размещаются в полях III, IV островодужных обстановок (см. рис. 2 а). На графике Zr/Y — Nb/Y [Fitton et al., 1997] все фигуративные точки блявинской свиты находятся по обе стороны разделительной линии неплюмового источника (EN). На диаграмме Nb — Y [Холоднов и др., 2021] две фигуративные точки базальтов блявинской свиты размещаются в области перекрытия полей I и II, вблизи стандарта OPB.

Изложенные геохимические материалы свидетельствуют о том, что надсубдукционный мантий-

ный диапир формировался под влиянием разрыва слэба (Slab-window) и флюидно-магматического вещества астеносферного подсубдукционного диапира.

Карамалинская свита максютовского комплекса (КРМК) зоны Уралтау

В составе максютовского комплекса Д. Д. и В. М. Криницики [1961] выделяют (снизу-вверх) свиты: галеевскую, кайраклинскую, юмагузинскую, карамалинскую.

Карамалинская свита очень близка к кайраклинской, в составе свиты преобладают парасланцы и ортосланцы [Алексеев, 1976]. Нередко наблюдаются линзы мраморированных известняков, небольшие тела измененных ультраосновных и основных интрузивных пород. Общая мощность карамалинской свиты 750–1000 м. Для хлорит-мусковит-альбитовых, мусковит-кварц-альбитовых с хлоритом сланцев карамалинской свиты проведены определения радиологического возраста калий-аргоновым методом, который дал интервал 305–420 млн лет [Алексеев, 1976].

На площади максютовского комплекса известны мелкие месторождения и рудопоявления Юлукской группы медносульфидных колчеданных месторождений (Южно-Юлукское, Северо-Юлукское, Гумеровское и др.), охарактеризованные А. А. Алексеевым и др. Все рудные залежи месторождений имеют пластовую форму и приурочены к карамалинской свите, завершающей разрез максютовского комплекса. В строении комплекса участвуют метабазалты (ортосланцы), составляющие примерно 15–20% объема комплекса.

Рудные тела Южно-Северо-Юлукских месторождений имеют согласные пластообразные линзовидные формы, среди первичных сульфидных руд преобладают массивные руды, в меньшем объеме присутствуют вкрапленные и полосчатые типы минерализации.

По минеральному составу руды: пиритовые, сфалерит-халькопиритовые, халькопирит-пирротин-пиритовые, пирит-пирротинные, реже пирротинные.

Генезис и возраст сульфидного оруденения Юлукской группы — предмет дискуссии. Предполагается гидротермальное и эксгаляционно-осадочное происхождение руд. Более аргументирован второй вариант.

В связи с дискуссией о возрасте оруденения Юлукских месторождений, интерес представля-

ет заключение А. П. Виноградова с соавторами [Виноградов и др., 1960], основанное на изучении изотопного состава свинца существенно пиритовых руд Южно-Юлукского месторождения. По сведениям названных выше авторов юлукские месторождения имеют послепериодический иначе говоря, палеозойский возраст, в который попадают и месторождения колчеданных руд Блявинской группы.

По нашему мнению, возможным протолитом карамалинской свиты (КРМК) Максютовского комплекса являются толщи, отнесенные в схеме стратиграфического расчленения Сакмарской зоны [Серавкин и др., 1992] к верхней части разреза карамалинской толщи и нижней части разреза блявинской свиты. Нижняя часть разреза блявинской (колчеданосной) свиты могла содержать колчеданные рудные тела современного Юлукского рудного района. Эти месторождения эксгаляционно-гидротермально-осадочного генезиса, по минеральному составу пиритовые, сфалерит-халькопирит-пиритовые, халькопирит-пирротин-пиритовые, пирит-пирротинные и реже пирротинные, отчасти обладают сходством с месторождениями медно-кобальт-колчеданного состава ивановского типа Вознесенско-Присакмарской зоны [Зайков и др., 2001; Масленников, 1999; Мелекесцева, 2007] прежде всего постоянным присутствием в разрезе карамалинской (КРМК) рудоносной свиты линз серпентинизированных ультрабазитов [Алексеев, 1976]. Отличием месторождений юлукской группы, по сравнению с ивановским типом Вознесенско-Присакмарской зоны, является преобладание в подсчитанных запасах металлов Zn над Cu [Зайков и др., 2001, 2009], при незначительных общих запасах руд, что характерно и для Комсомольского, Яманкасинского и Разумовского месторождений. Следует также сказать, что в разрезах рифейских толщ Южного Урала колчеданные месторождения неизвестны.

Значительная часть разреза (предполагаемая верхняя часть карамалинской толщи) Медногорского рудного района и нижняя часть разреза блявинской свиты могли быть «захвачены» субдукционными процессами и погружены на глубокие уровни зоны субдукции. В пользу подобного сценария свидетельствует значительная тектонизированность колчеданосной блявинской свиты, наличие многочисленных линз и пластин серпентинитов в разрезе карамалинской толщи Сакмарской зоны и в разрезе КРМК. Известно также, что в разрезе КРМК, преимущественно

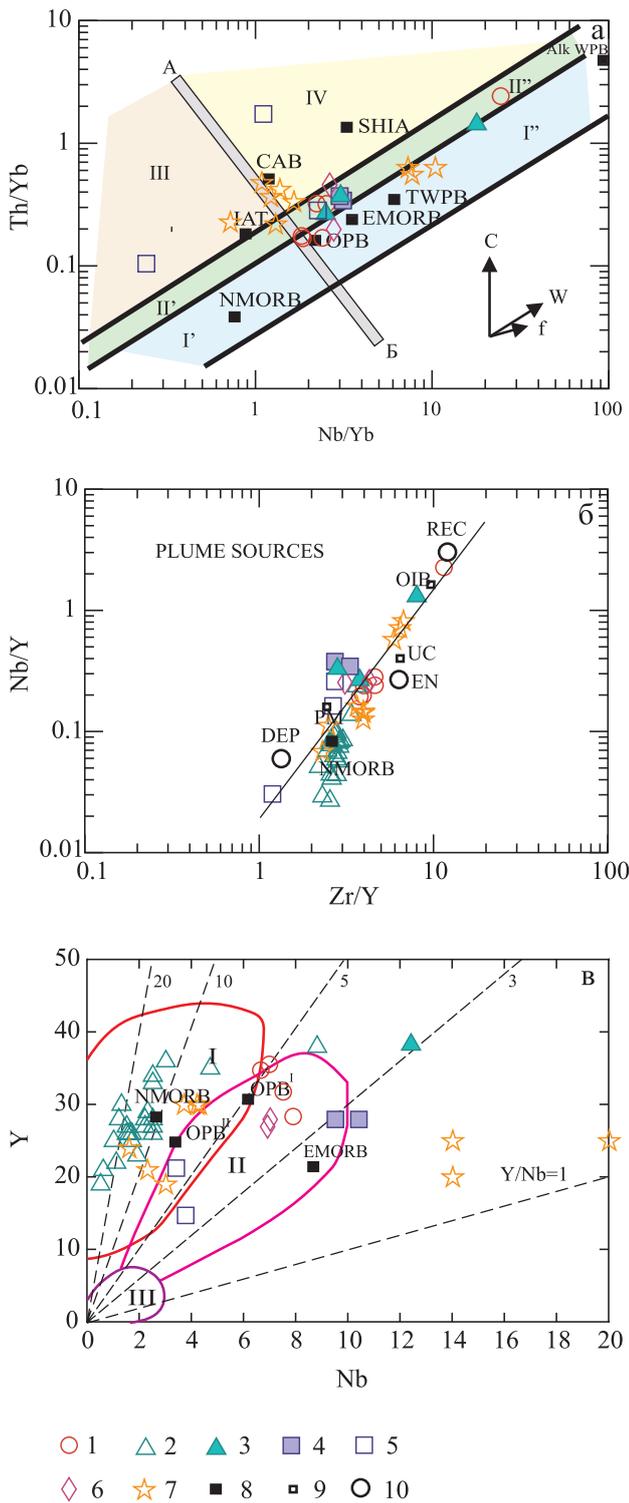


Рис. 2. Соотношения Nb/Yb — Th/Yb (а) [Pearce, 2008], Zr/Y — Nb/Y (б) [Fitton et al., 1997], Nb — Y (в) [Холоднов и др., 2021] базальтов вулканических комплексов, слагающих Кракино-Медногорский пояс.

Условные обозначения: 1 — базальты медногорской свиты, 2 — базальты баулуской свиты [Рязанцев, Борисенко, 2005, коллекция Д. В. Борисенка], 3 — базальты баулуской свиты [Косарев, 2015], 4 — базальты карамолинского комплекса, южная стенка Блявинского карьера [Косарев, 2015], 5 — базальты блявинского комплекса, юго-восточной стенки Блявинского карьера [Косарев, 2015], 6 — базальты дергайшской свиты [Борисенко, Рязанцев, 2005], 7 — базальты губерлинской свиты [Борисенко, Рязанцев, 2005], 8 — стандартные составы базальтов различных геодинамических обстановок: NMORB — нормальные толеитовые базальты COX; EMORB — обогащенные базальты COX. Стандартные составы островных дуг: IAT — толеитовые базальты островных дуг; CAB — известково-щелочные базальты; SHIA — шошонитовая серия; OPB — базальты подводных океанических плато [Богатиков и др., 2010]; TWPB — внутриплитные базальты переходного типа; Alk WPB — щелочные внутриплитные базальты. Поля: I' — I'' — поле океанических базальтов; II' — II'' — поле переходных составов от океанических к островодужным; III — поле островодужных составов с океанической и маломощной островодужной корой; IV — поле островодужных составов с мощной островодужной и переходной к континентальной корой; AB — линия, разделяющая океанический и континентальный сектор, 9 — составы магм: PM — примитивная мантия; UC — состав верхней коры; OIB — базальты океанических островов; 10 — типы плюмовых источников: REC — рециклиновый; DEP — деплетированный; EN — обогащенный. Поля: I — островодужные комплексы Тагильской вулканогенной зоны (ТВЗ), II — рифтогенный габбро- (сиенит) — гранитоидный магматизм «мантийных окон», III — габброиды лейкогаббро-анортозит-плагиогранитной серии в составе Платиноносного пояса Урала (ППУ).

Fig. 2. Ratios Nb/Yb — Th/Yb (a) [Pearce, 2008], Zr/Y — Nb/Y (б) [Fitton et al., 1997], Nb — Y (в) [Kholodnov et al., 2021] ratios of basalts volcanic complexes that make up the Krakino-Mednogorsk belt

Legend: 1 — basalts of the Mednogorsk Formation, 2 — basalts of the Baulus Formation (Boriseno, 2005), 3 — basalts of the Baulus Formation [Kosarev, 2015], 4 — basalts of the Karamolinsky complex, southern wall of the Blyavinsky quarry [Kosarev, 2015], 5 — basalts Blyavinsky complex, southeastern wall of the Blyavinsky quarry [Kosarev, 2015], 6 — basalts of the Dergaish Formation [Boriseno, 2005], 7 — basalts of the Guberlinsky Formation [Boriseno, 2005], 8 — standard compositions of basalts from different geodynamic settings: NMORB — normal tholeiitic basalts MOR; EMORB — enriched MOR basalts. Standard compositions of island arcs: IAT — tholeiite basalts of island arcs; CAB — calc-alkaline basalts; SHIA — shoshonitic series; OPB — basalts of underwater oceanic plateaus [Bogatikov et al., 2010]; TWPB — intraplate basalts of transitional type; Alk WPB — alkaline intraplate basalts. Fields: I' — I'' — field of oceanic basalts; II' — II'' — field of transitional compositions from oceanic to island-arc; III — field of island-arc compositions with oceanic and thin island-arc crust; IV — field of island-arc compositions with thick island-arc and transitional to continental crust; AB — line separating the oceanic and continental sectors, 9 — magma compositions: PM — primitive mantle; UC — composition of the upper crust; OIB — ocean island basalts; 10 — types of plume sources: REC — recycled; DEP — depleted; EN — enriched. Fields: I — island-arc complexes of the Tagil volcanogenic zone (TB3), II — riftogenic gabbro- (syenite) — granitoid magmatism of “mantle windows”, III — gabbros of the leucogabbro-anorthosite-plagiogranite series as part of the Ural Platinum Belt (ППУ).

в нижней части разреза, присутствуют тела эклогитов. Близкая к изложенной выше, модель формирования и взаимоотношения вулканогенных свит Сакмарской зоны и метаморфических толщ максютювского комплекса ранее была предложена К. С. Ивановым [1998], а возможность «уноса» части разреза вулканогенных толщ Сакмарской структурной зоны процессами субдукции предполагались В. Н. Пучковым [2000, 2010]. Общая эволюционная модель обдукции и эксгумации высокобарических-низкотемпературных горных пород на Южном Урале разработана [Chemenda et al., 1997].

Возраст ортосланцев максютювского комплекса по радиологическим и фаунистическим материалам

Одной из актуальных проблем геологии, геодинамики и металлогении Южного Урала являются взаимоотношения вулканогенных толщ Сакмарской зоны с метаморфическими комплексами Урал-Тауского антиклинория. Максютювский эклогит-глаукофановый комплекс является одним из наиболее изученных комплексов высокобарического типа. Геологическое строение его изложено в ряде монографий [Алексеев, 1976; Вализер и др., 1988; Добрецов, 1974; Ленных, 1977; Удовкина, 1985; Чесноков, 1963] и в многочисленных статьях.

В состав максютювского комплекса входят: галеевская, кайраклинская, юмагузинская и карамалинская свиты, предположительно нижнего — среднего рифея. По представлениям В. И. Ленных [1984] в разрезе максютювского комплекса выделяются две серии: нижняя, включающая галеевскую, кайраклинскую и юмагузинскую свиты, и верхняя, залегающая с тектоническим нижним контактом, сложенная карамалинской свитой.

В. Н. Пучков [1997, 2000, 2010] считает возможным включать максютювский комплекс в аккреционную призму девонского возраста, где совмещены палеозойские офиолиты и сиалические породы докембрийского (?) возраста. Анализ минералогических материалов по эклогитам максютювского комплекса проведен и обобщен в работе [Ковалев и др., 2011]. Подчеркивается проявление «пикового» метаморфизма (псевдоморфозы кварца по коэситу [Чесноков, Попов, 1965], наличие сведений о кубоидной морфологии обособлений графита в эклогитах, являющихся псевдоморфозами графита по алмазу [Leech, Ernst, 2000]). Максимальное давление при формировании метаморфического

максютювского комплекса оценивается в 20 ± 4 кбар, что соответствует глубине субдукционной плиты в 50–70 км и вполне достаточно для формирования эклогитовой минеральной ассоциации. Температура и давление минералообразования эклогитов оценивается от $400\text{--}500^\circ\text{C}$ и 10–12 кбар до $500\text{--}550^\circ\text{C}$ и 15–22 кбар [Добрецов, 1974; Ленных, 1977].

По [Volkova et al., 2004] кристаллизация ядра граната из эклогита МК происходила при $638\text{--}657^\circ\text{C}$ при давлении в 20.4–22.2 кбар; внешняя кайма граната возникла при $723\text{--}749^\circ\text{C}$, при давлении 19.9–21.9 кбар.

Возраст формирования линзовидных залежей мраморов кайраклинской и карамалинской свит, определен по находкам в них силурийско-раннедевонских конодонтов [Захаров, Мавринская, 1994; Захаров, Пучков, 1994] и кембрийских археоциат [Львов, 1965]. Высокие цифры возраста которых, по рутилам из сланцев и эклогитов, 1216 ± 93 млн лет и по цирконам из юмагузинской свиты U — Pb методом [Краснобаев и др., 1996] и Rb — Sr методом в 1100 млн лет [Добрецов, 1974], а также определения по терригенным цирконам из кварцитов галеевской и юмагузинской свит от 960–990 млн лет до 2000 ± 210 млн лет [Козлов, 1982]. Эти цифры, скорее всего, отражают возраст материнских пород рифейского возраста, подверженных размыву, возможно, и захвату и уносу в зону субдукции, с последующей эксгумацией.

Большой блок данных получен К — Ag методом по слюдам фенгитового состава, эти цифры дают интервал возраста эклогитов 370–420 млн лет [Ленных, 1977; Алексеев, 1976]. С изотопными возрастными хорошо увязываются геологические материалы о присутствии в шлихах полимиктовых песчаников зилаирской свиты (D_3fm) зерен граната и глаукофана [Аржавитина, 1978].

Химический состав ортосланцев карамалинской свиты

По химическому составу [Алексеев, 1976] большая часть ортосланцев карамалинской свиты МК (максютювского комплекса) близка к базальтам (SiO_2 45–52 мас. %) низкотитанистого типа ($\text{TiO}_2 < 1.1$ мас. %). 4 пробы из 40 относятся к андезибазальтам (SiO_2 53–54 мас. %), 7 проб представляют кислые породы риолитового и дацитового составов. В базальтах КРМК [табличное приложение, Алексеев, 1976] большая часть анализов базальтов содержит $\text{TiO}_2 \leq 1.1\text{--}0.38$ мас. %, что характерно для остро-

водужных базальтов. Некоторое количество базальтов из этой таблицы (5 из 40 проб) содержат TiO_2 1.28–1.63 мас. %. Кроме того, в неопубликованных анализах А. А. Алексева по апобазальтовым ортосланцам КРМК присутствуют анализы с TiO_2 1.34; 1.5; 2.57; 3.05 мас. %. Предполагается, что TiO_2 при метаморфических преобразованиях ведет себя инертно.

Эти данные сближают геохимические характеристики базальтовых ортосланцев КРМК с базальтами карамолинской толщи Медногорского рудного района. А наличие фаунистических данных о кембрийском и позднесилурийско-раннедевонском возрасте мраморов из толщ максютовского комплекса, позволяет предполагать, что именно вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи современного Медногорского рудного района были частично вовлечены в процессы субдукции и были основной (или одной из составляющих) метаморфических пород максютовского комплекса.

Обсуждение

Раннепалеозойский тектономагматический цикл и формационный ряд в Сакмарской структурной зоне включает кембрийские, ордовикские, силурийские и раннедевонские формации. В кембрийское и ордовикское время сформировались медногорский (С) и баулуский (О) вулканические комплексы, относящиеся к стадиям континентального и океанического рифтогенеза. В раннесилурийское время в период образования карамолинского (S — D₁) вулканического кремнисто-базальтового комплекса установлено активное протрузивное внедрение серпентинизированных ультрабазитов [Серавкин, Родичева, 1990; Серавкин и др., 1992]. В результате этого процесса в разрезе карамолинского комплекса образовались линзы серпентинитов, прослой серпентинито-обломочных пород, ассоциирующихся с фтанитами и серыми кремнистыми породами, включая кремнистые алевролиты. Прослой серпентинито-обломочных пород классифицировались нами как эдафогенные брекчии [Косарев и др., 2018]. По данным И. Б. Серавкина [Серавкин и др., 1992] в районе дер. Чураево базальты карамолинского комплекса выклиниваются, замещаясь кремнистыми сланцами региональной сакмарской свиты (S — D₁). Эти сведения позволили И. Б. Серавкину [Серавкин и др., 1992] датировать карамолинскую толщу силурийско-раннедевонским возрастом. Выше (по возрасту)

карамолинской толщи располагается блявинская свита (S₂₍₉₎ — D₁). Нами к блявинской формации отнесены рудовмещающие вулканогенные толщи, представленные низкотитанистыми ($TiO_2 \leq 1.2$ мас. %) базальтами островодужного типа и кислыми породами полифациального состава. Наиболее детально разрез блявинского колчеданосного комплекса изучен на рудном поле Комсомольского месторождения [Бельков, 1978; Даниленко, 1991].

В разрезе по реке Херсонке блявинская свита перекрывается толщами кремнисто-обломочных пород акчуруинской свиты лохковского-прагиенского и нижней части эмского ярусом (D₁h — e₁). Эти данные позволили И. Б. Серавкину [Серавкин и др., 1992] датировать блявинскую свиту как силурийско-раннедевонскую, что принимается и нами.

Анализ материалов по максютовскому высокобарическому метаморфическому комплексу и Юлукской группе колчеданных месторождений, по нашему мнению, позволяет сопоставлять часть этого комплекса (карамолинскую свиту) с фрагментами разрезов Сакмарской зоны, представленных карамолинской толщей и блявинской свитой. Предполагается, что редуцированный характер карамолинской толщи определяется тем, что значительные фрагменты этих разрезов оказались в зоне субдукции ордовик? — силурийского возраста и попали в зону «уноса», погрузившись на глубину. Часть материала этих разрезов была подвержена высокобарическому — низкотемпературному метаморфизму эклогитового типа. Кроме фрагментов силуро-девонских вулканогенных толщ Сакмарской зоны в зону субдукции попали и толщи древних рифейских комплексов, которые дают цирконовый возраст 1216–960 млн лет [Краснобаев и др., 1996; Добрецов, 1974]. Для корреляции вулканогенных комплексов Сакмарской зоны с метаморфическими образованиями максютовского комплекса особенно показательны составы колчеданных месторождений Юлукской группы, которые в большинстве своем имеют ту же специфику (Zn > Cu) колчеданных руд, как и месторождения Блявинской группы Медногорского рудного района.

Чанчарский вулканический комплекс (D₁e) является формационным и возрастным аналогом мостостроевского комплекса [Косарев, 2007; Кориневский, 1971; Бочкарев, Язева, 2000; Федоров и др., 2017].

Этот комплекс завершает вулканический цикл в Сакмарской зоне и переходит в современную Вознесенско-Присакмарскую зону (ГУР). Однако, раннедевонская зона субдукции заложилась в ран-

недевонский возрастной период на границе ранний эмс — поздний эмс.

Силурийско-раннедевонская зона субдукции в Сакмарской зоне располагалась в пограничной зоне, представленной карамолинским комплексом, между баулуским блоком с океаническим вулканизмом и блявинской зоной островодужного вулканизма. В эту зону субдукции, занимая восточную позицию, входил и «будущий максютовский» комплекс, представляя зону уноса. Новая, раннедевонская зона субдукции, которая в позднеэмско-верхнедевонское время контролировала вулканизм Магнитогорской зоны, переместилась на восток. Однако, антиформная зона Урал-Тау вновь была в составе зоны субдукции, но занимала крайнюю западную позицию, представляя в геодинамическом аспекте «зону эксгумации».

Выводы

1. Выделены 2 геодинамические группы вулканических комплексов в Северной части Сакмарской зоны: 1 — стадии континентального и океанического рифтогенеза (медногорский (€), баулуский (O), карамолинский (S₁)); 2 — надсубдукционные (блявинский (S — D₁), чанчарский (D_{1e})).

2. Карамолинский комплекс Медногорского рудного района относится к переходной субокеанической стадии — заложения зоны субдукции.

3. По фаунистическим и радиологическим материалам протолитом максютовского комплекса были вулканогенные и вулканогенно-осадочные комплексы, близкие по возрасту и составу к кембрю — ордовик — силур — раннедевонским свитам и толщам Медногорского рудного района и средне-верхне-протерозойские толщи Южного Урала.

4. Силурийско-раннедевонская зона субдукции восточного падения заложилась в период формирования карамолинского комплекса Медногорского рудного района. В её надсубдукционной зоне образовались блявинский колчеданосный и чанчарско-мостостроевский комплексы. Составной частью этой зоны субдукции был и максютовский комплекс современной антиформной зоны Уралтау.

5. Отсутствие в разрезе Вознесенско-Присакмарской зоны островодужных вулканических силурийско-раннедевонского возраста — аналогов блявинской свиты, не позволяет принять идею о тектоническом переброе толщ вулканических из Вознесенско-Присакмарской в Сакмарскую зону.

Список литературы

Авдейко Г. П., Палуева А. А., Хлебородова О. А. Геодинамические условия вулканизма и магмообразования Курило-Камчатской островодужной системы // *Петрология*. 2006. Т. 14. № 3. С. 248–265.

Алексеев А. А. Магматические комплексы зоны хребта Урал-тау. М.: Наука, 1976. 170 с.

Аржавитина М. Ю. Особенности минерального состава терригенных пород зилаирской свиты Магнитогорского мегасинклиория // *Минералого-геохимические особенности колчеданных месторождений, вулканогенных и осадочных образований Южного Урала*. Уфа: БФАН СССР, 1978. С. 48–55.

Бельков Ю. П. Палеовулканизм рудного поля Комсомольского месторождения и колчеданное рудообразование. Вулканические образования Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 121–127.

Богатиков О. А., Коваленко В. И., Шарков Е. В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. Связь во времени и в пространстве. М.: Наука, 2010. 606 с.

Борисенок Д. В., Рязанцев А. В. Вулканогенные комплексы нижнего палеозоя в области сочленения Сакмарской и Присакмарско-Вознесенской зон Южного Урала // *Очерки по региональной тектонике*. 1. Южный Урал. М.: Наука, 2005. С. 135–153.

Бородаев Ю. С., Корень Т. Н., Петровский А. Д. О находке граптолитов в карьере Блявинского колчеданного месторождения на Южном Урале // *Докл. АН СССР*. 1963. Т. 150. № 5. С. 1107–1108.

Бочкарев В. В., Язева Р. Г. Субщелочной магматизм Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 256 с.

Вализер П. М., Ленных В. И. Амфиболы голубых сланцев Урала. М.: Наука, 1988. 202 с.

Виноградов А. П., Тарасов Л. С., Зыков С. И. Изотопный состав свинцов колчеданных месторождений Урала // *Геохимия*. 1960. № 6. С. 475–489.

Даниленко С. А. О химизме надрудных базальтов Комсомольского месторождения // *Микроэлементы в магматических, метаморфических и рудных формациях Урала*. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1991. С. 116–121.

Добрецов Н. Л. Глаукофансланцевые и эколгит-глаукофансланцевые комплексы СССР. Новосибирск: Наука, 1974. 429 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.

Захаров О. А., Мавринская Т. М. Новые палеонтологические данные о возрасте субстрата метаморфитов Уралтау // *Ежегодник-93*. ИГ УНЦ РАН. Уфа, 1994. С. 19–20.

Захаров О. А., Пучков В. Н. О тектонической природе максютовского метаморфического комплекса на Южном Урале: Доклад Президиуму УНЦ РАН. Уфа, 1994. 30 с.

Иванов К. С. Основные черты геологической истории (1.6–0.2 млрд лет) и строения Урала // Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук в форме научного доклада. Екатеринбург, 1998. 252 с.

Каракулина Г. В., Никитин И. И. Медногорский рудный район // Медноколчеданные месторождения Урала. Геологические условия размещения. Свердловск, 1985. С. 134–140.

Ковалев С. Г., Тимофеева Е. А., Пиндюрина Е. О., Ковалев С. С. Геохимия и условия образования эклогитов максютовского комплекса // Геологический сборник. 2011. №9. Юбилейный выпуск. ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПолиграфСервис. С. 173–185.

Козлов В. И. Верхний рифей и венд Южного Урала. М.: Наука, 1982. 127 с.

Кориневский В. Г. Калиевые щелочные базальтоиды эйфеля Сакмарской зоны Мугоджар // Ежегодник-1970 Института геологии и геохимии УНЦ АН СССР. Свердловск, 1971. С. 16–19.

Коротеев В. А., Семенов И. В. Влияние конвекционно-спрединговых и мантийно-плюмовых процессов на формирование химического состава базальтов и плутонических пород рифта Палеоуральского океана // Литосфера. 2008. №5. С. 54–83.

Косарев А. М. Геология и геохимические особенности раннепалеозойских вулканитов Сакмарской и Вознесенско-Присакмарской зон на Южном Урале // Литосфера. 2015. №2. С. 40–64.

Косарев А. М. Умереннощелочной и щелочной вулканизм раннеэмского времени на Южном Урале: геохимические особенности и геодинамические реконструкции // Литосфера. 2007. №6. С. 54–70.

Косарев А. М., Светов С. А., Чаженгина С. Ю., Шафигуллина Г. Т. Бонинитовые вариолиты Бурибайского вулканического комплекса Южного Урала: минералогия, геохимия и условия образования // Литосфера. 2018. Вып. 18. №2. С. 246–279. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-246-279

Краснобаев А. А., Давыдов В. А., Ленных В. И., Чередниченко Н. В., Козлов В. И. Возраст цирконов и рутилов Максютовского комплекса (предварительные данные) // Ежегодник-1995. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 1996. С. 13–16.

Креницкий Д. Д., Креницкая В. М. Стратиграфия метаморфических толщ района среднего течения р. Сакмары // Уч. зап. Саратовского гос. ун-та. 1961. Вып. 67а. С. 167–174.

Кропачев С. М., Бородаев Ю. С., Гончарова Т. Я. Блявинский рудный район // Палеозойский вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. М.: МГУ, 1968. С. 97–150.

Ленных В. И. Доуралиды зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Урала // Метаморфизм и тектоника западных зон Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. С. 21–42.

Ленных В. И. Эклогит-глаукофансланцевые пояса Урала. М.: Недра, 1977. 158 с.

Львов К. А. Уральская складчатая область // Стратиграфия СССР. Кембрийская система. М.: Недра, 1965. С. 71–114.

Масленников В. В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей. Миасс: Геотур, 1999. 348 с.

Мелекесцева И. Ю. Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур. М.: Наука, 2007. 245 с.

Мурдмаа И. О. Фации океанов. М.: Наука, 1987. 303 с.

Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

Пучков В. Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.

Пучков В. Н. Тектоника Урала. Современные представления // Геотектоника. 1997. №4. С. 42–61.

Руженцев С. В. Краевые офиолитовые аллохтоны. М.: Наука, 1976. 176 с.

Рязанцев А. В., Борисенок Д. В., Дубинина С. В., Калинина Е. А., Кузнецов Н. Б., Матвеева Е. А., Аристов В. А. Общая структура Сакмарской зоны Южного Урала в районе Медногорских колчеданных месторождений // Очерки по региональной тектонике. Т. 1: Южный Урал. М.: Наука, 2005. С. 84–135.

Семёнов И. В. Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 362 с.

Серавкин И. Б., Косарев А. М., Салихов Д. Н., Знаменский С. Е., Родичева З. И., Рыкус М. В., Сначев В. И. Вулканизм Южного Урала. М.: Наука, 1992. 197 с.

Серавкин И. Б., Родичева З. И. Кракинско-Медногорский палеовулканический пояс. Уфа: ИГ БНЦ УрО АН СССР, 1990. 53 с.

Смирнова И. А., Черкасов В. Л., Тищенко В. Т. Ещё раз о геологическом строении и возрасте вулканогенных пород и колчеданного оруденения Медногорского рудного района // Вулканизм и металлогения геосинклиналией. Уфа: БФАН СССР, 1986. С. 82–92.

Удовкина Н. Г. Эклогиты СССР. М.: Наука, 1985. 285 с.

Федоров П. В., Кориневский В. Г., Золотарев Б. П. Геохимия раннедевонских калиевых пород Сакмарской зоны Южного Урала // Геохимия. 2017. №4. С. 314–328. DOI: 10.7868/S0016752517020029

Фролова Т. И., Бурикова И. А. Магматические формации современных геотектонических обстановок: Уч. пособие. М.: МГУ, 1997. 320 с.

Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. Учебник — 2-е изд., и доп. М.: КДУ, 2005. 560 с.

Холоднов В. В., Шардакова Г. Ю., Пучков В. Н., Петров Г. А., Шагалов Е. С., Салихов Д. Н., Коровко А. В., Прибавкин С. В., Рахимов И. Р., Бородина Н. С. Палеозойский гранитоидный магматизм Урала как отражение этапов геодинамической и геохимической эволюции коллизион-

ного орогена // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12. № 2. С. 225–245. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-2-0522>

Чесноков Б. В. Эклогиты Южного Урала и их практическое значение // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Т. 3. Свердловск: УФАН СССР. 1963. С. 257–263.

Чесноков Б. В., Попов В. А. Увеличение объема зерен кварца в эклогитах Южного Урала // Докл. АН СССР. 1965. Т. 62. С. 909–910.

Chemenda A., Matte Ph., Sokolov V. A model of Paleozoic obduction and exhumation of high-pressure/low temperature rocks // Tectonophysics. 1997. V. 276. № 1–4. P. 217–227. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(97\)00057-7](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(97)00057-7)

Fitton J. G., Saunders A. D., Norry M. J., Hardarson B. S. and Taylor R. N. Thermal and chemical structure of the Iceland plume // Earth and Planetary Science Letters. V. 153. № 3–4. 1997. P. 197–208. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(97\)00170-2](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(97)00170-2)

Leech M. L., Ernst W. G. Petrotectonic evolution of the high-to ultrahigh-pressure Maksyutov Complex, Karayanova area, south Ural Mountains: structural and oxygen isotope constraints // Lithos. 2000. V. 52. № 1–4. P. 235–252. [https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(99\)00093-6](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(99)00093-6)

Pearce J. A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust // Lithos. 2008. V. 100. № 1–4. P. 14–48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.016>

Volkova N. I., Frenkel A. E., Budanov V. I., Lepezin G. G. Geochemical signatures for eclogite protolith from the Maksyutov Complex, South Urals // Journal of Asian Earth Sciences. 2004. V. 23. № 5. P. 745–759. Doi: 10.1016/s1367-9120(03)00128-7

References

Avdeyko G. P., Palueva A. A., Khleborodova O. A. (2006). Geodynamic conditions of volcanism and magma formation in the Kurile-Kamchatka island arc system. *Petrology*, 14 (3), 248–265 (translated from *Petrologiya*, 14 (3), 230–246. (In Russian). Doi: 10.1134/S0869591106030027

Alekseev A. A. (1976). Magmaticheskie komplekсы zony khrebtа Ural-Tau [Igneous complexes of the Ural-Tau ridge zone]. M.: Nauka. 170 p. (In Russian).

Arzhavitina M. YU. (1978). Osobennosti mineral'nogo sostava terrigennykh porod zilair'skoi svity Magnitogorskogo megasinklinoriya [Features of mineral composition of terrigenous rocks of zilair'skaya suite of Magnitogorsk megasynclorium]. *Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti kolchedannykh mestorozhdenii, vulkanogennykh i osadochnykh obrazovaniy YUzhnogo Urala*. [Mineralogical, Geochemical Features massive sulfide deposits, volcanogenic and sedimentary formations of the Southern Urals]. Ufa: BFAN SSSR, 1978, 48–55. (In Russian).

Bel'kov YU. P. (1978). Paleovulkanizm rudnogo polya Komsomol'skogo mestorozhdeniya i kolchedannoe rudoobrazovanie [Paleovolcanism of the ore field of the Komsomolskoye deposit and sulfide ore formation. Volcanic formations of the Urals]. *Vulkanicheskie obrazovaniya Urala* [Volcanic forma-

tions of the Urals]. Sverdlovsk: UNTS AN SSSR, 121–127. (In Russian).

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

Borisenok D. V., Ryazantsev A. V. (2005). Vulkanogennye komplekсы nizhnego paleozoya v oblasti sochleneniya Sakmarskoi i Prisakmarsko-Voznesenskoi zon YUzhnogo Urala [Lower Paleozoic volcanogenic complexes in the juncture of the Sakmara and Prisakmara — Voznesensk zones of the Southern Urals]. *Ocherki po regional'noi tektonike. I. YUzhnyi Ural* [Essays on Regional Tectonics. Volume 1. South Urals]. M.: Nauka. 135–153. (In Russian).

Borodaev YU. S., Koren' T. N., Petrovskii A. D. (1963). O nakhodke graptolitov v kar'ere Blyavinskogo kolchedannogo mestorozhdeniya na YUzhnom Urale [About the discovery of graptolites in the quarry of the Blavinsky massive sulfide deposit in the Southern Urals]. *Dokl. AN SSSR*. 150 (5), 1107–1108. (In Russian).

Bochkarev V. V., YAzeva R. G. (2000). Subshchelochnoi magmatizm Urala [Subalkaline magmatism of the Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN. 256 p. (In Russian).

Valizer P. M., Lennykh V. I. (1988). *Amfiboly golubyykh slantsev Urala* [Amphiboles of the blue schists of the Urals]. M.: Nauka. 202 p. (In Russian).

Vinogradov A. P., Tarasov L. S., Zykov S. I. (1960). Isotopic composition of lead in pyrite deposits of the Urals. *Geokhimiya*. (6), 475–489. (In Russian).

Danilenko S. A. (1991). O khimizme nadrudnykh bazal'tov Komsomol'skogo mestorozhdeniya [On the chemistry of superore basalts of the Komsomolsk deposit]. *Mikroelementy v magmaticheskikh, metamorficheskikh i rudnykh formatsiyakh Urala* [Trace elements in igneous, metamorphic and ore formations of the Urals]. Ufa: BNTS UrO AN SSSR. 116–121. (In Russian).

Dobretsov N. L. (1974). *Glaukofanslantsevye i eklogit — glaukofanslantsevye komplekсы SSSR* [Glauconite schist and eclogite-glaucophane schist complexes of the USSR]. Novosibirsk: Nauka. 429 p. (In Russian).

Zaykov V. V., Maslennikov V. V., Zaykova E. V., Kherrington 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 paleocean]. 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]. IMin UrO RAN, Miass. 376 p. (In Russian).

Zakharov O. A., Mavrinskaya T. M. (1994). Novye paleontologicheskie dannye o vozraste substrata metamorfita Uraltau [New paleontological data on the age of the metamorphic substrate Uraltau]. *Ezhegodnik-93*. IG UNTS RAN. Ufa. 19–20. (In Russian).

- Zakharov O. A., Puchkov V. N. (1994). O tektonicheskoi prirode maksyutovskogo metamorficheskogo kompleksa na YUzhnom Urale [On the tectonic nature of the Maksyutovo complex of the Uraltau zone]. *Doklad Prezidiumu UNTS RAN*. Ufa. 30 p. (In Russian).
- Ivanov K. S. (1998). Osnovnye cherty geologicheskoi istorii (1.6–0.2 mlr let) i stroeniya Urala [Principal Features of Geological History (1.6–0.2 Ga) and Structure of the Urals]. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk v forme nauchnogo doklada*. Ekaterinburg. 252 p. (In Russian).
- Karakulina G. V., Nikitin I. I. (1985). Mednogorskii rudnyi raion. *Mednokolchedannye mestorozhdeniya Urala. Geologicheskie usloviya razmeshcheniya* [Copper-pyrite deposits of the Urals. Geological conditions of accommodation]. Sverdlovsk. 134–140. (In Russian).
- Kozlov V. I. (1982). Verkhniy rifey i vend YUzhnogo Urala [Upper Riphean and Vendian of the Southern Urals]. M.: Nauka. 127 p. (In Russian).
- Kovalev S. G., Timofeeva E. A., Pindyurina E. O., Kovalev S. S. (2011). Geokhimiya i usloviya obrazovaniya eklogitov maksyutovskogo kompleksa [Geochemistry and conditions for the formation of eclogites of the Maksyutovo complex]. *Geologicheskii sbornik*, (9). Ufa: DizainPoligrafServis, 173–185. (In Russian).
- Kosarev A. M. (2007). Umerennoshchelochnoi i shchelochnoi vulkanizm ranneemsskogo vremeni na YUzhnom Urale: geokhimicheskie osobennosti i geodinamicheskie rekonstruktsii [Moderately alkaline and alkaline volcanism of the Early Emsian in the Southern Urals: geochemical features and geodynamic reconstruction]. *Litosfera*, (6), 54–70. (In Russian).
- Korinevskii V. G. (1971). Kalievye shchelochnye bazal'toidy eifelya Sakmarskoi zony Mugodzhar [Potassium alkaline basalts of the Eifelian Sakmara zone Mugodzhar]. *Ezhegodnik-1970 Instituta geologii i geokhimii UNTS AN SSSR*. Sverdlovsk. 16–19. (In Russian).
- Koroteev V. A., Semenov I. V. (2008). Vliyanie konveksionno-spreyingovykh i mantiino-plyumovykh protsessov na formirovaniye khimicheskogo sostava bazal'tov i plutonicheskikh porod rifta Paleoural'skogo okeana [Influence of convection-spreading and mantle-plume processes on the chemical composition of Paleourals ocean rift's basalts and plutonic rocks]. *Litosfera*, (5), 54–83. (In Russian).
- Kosarev A. M. (2015). Geologiya i geokhimicheskie osobennosti rannepaleozoiskikh vulkanitov Sakmarskoi i Voznesensko-Prisakmarskoi zon na YUzhnom Urale [Geology and geochemical features of Early Paleozoic volcanites of the Sakmara and Voznesenka-Prisakmarian zones in Southern Urals]. *Litosfera*, (2), 40–64. (In Russian).
- Kosarev A. M., Svetov S. A., Chazhengina C. Yu., Shafigullina G. T. (2018). Boninitovye variolity Buribaiskogo vulkanicheskogo kompleksa Yuzhnogo Urala: mineralogiya, geokhimiya i usloviya obrazovaniya [Boninitic variolites of the Buribay volcanic complex the Southern Urals: mineralogy, geochemistry and formation conditions]. *Litosfera*, 18 (2), 246–279. (In Russian) DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-246-279
- Krasnobaev A. A., Davydov V. A., Lennykh V. I., Cherednichenko N. V., Kozlov V. I. (1996). Vozrast tsirkonov i rutilov Maksyutovskogo kompleksa (predvaritel'nyye dannye) [Age of zircons and rutiles of the Maksyutovsky complex (preliminary data)]. *Ezhegodnik-1995. IGG UrO RAN*. Ekaterinburg. 13–16. (In Russian).
- Krinitskii D. D., Krinitskaya V. M. (1961). Stratigrafiya metamorficheskikh tolshch raiona srednego techeniya r. Sakmary [Stratigraphy of metamorphic strata in the region of the middle reaches of the river. Sakmara]. *Uch. zap. Saratovskogo gos. un-ta*. Issue. 67a, 167–174. (In Russian).
- Kropachev S. M., Borodaev YU. S., Goncharova T. YA. (1968). Blyavinskii rudnyi raion [Blyavinsky ore district]. *Paleozoiskii vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya YUzhnogo Urala* [Paleozoic Volcanism and Sulfide Deposits of the South Urals]. Moscow, MGU. 97–150. (In Russian).
- Lennykh V. I. (1977). Eklogit-glaukofanslantsevye poyasa Urala [Eclogite-glaucophane schist belt of the Urals]. Moscow, Nedra. 158 p. (In Russian).
- Lennykh V. I. (1984). Douralidy zony sochleneniya Vostochno-Evropeskoi platformy i Urala [Preuralids of junction zones of East European platform and the Urals]. *Metamorfizm i tektonika zapadnykh zon Urala* [Metamorphism and tectonics of the western zone of the Urals]. Sverdlovsk: UNTS AN SSSR. 21–42. (In Russian).
- L'vov K. A. (1965). Ural'skaya skladchataya oblast' [Ural folded region]. *Stratigrafiya SSSR. Kembriiskaya sistema* [Stratigraphy of the USSR. Cambrian system]. M.: Nedra. 71–114. (In Russian).
- Maslennikov V. V. (1999). Sedimentogenez, gal'miroz i ekologiya kolchedanonosnykh paleogidrotermal'nykh polei [Sedimentogenesis, Halmyrolysis, and Ecology of Paleohydrothermal Massive Sulfide Ore Fields]. Miass, Geotur. 348 p. (In Russian).
- Melekestseva I. YU. (2007). Geterogennyye kobal't-mednokolchedannyye mestorozhdeniya v ul'tramafitakh paleostrovoduzhnykh struktur [Heterogeneous Co-bearing massive sulfide deposits associated with ultramafites of paleo-island arc structures]. Moscow, Nauka. 245 p. (In Russian).
- Murdmaa I. O. (1987). Fatsii okeanov [Facies of Oceans]. Moscow, Nauka. 303 p. (In Russian).
- Puchkov V. N. (2010). Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of Urals (topical questions of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DizainPoligrafServis. 280 p. (In Russian).
- Puchkov V. N. (2000). Paleogeodinamika YUzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of the South and Middle Urals]. Ufa: Dauriya. 146 p. (In Russian).
- Puchkov V. N. (1997). Tektonika Urala. Sovremennyye predstavleniya [Tectonics of the Urals. Modern Ideas]. *Geotektonika — Geotectonics*, (4), 42–61. (In Russian).
- Ruzhentsev S. V. (1976). Kraevyye ofiolitovyye allokhthony [Marginal ophiolitic allochthons]. Moscow, Nauka. 176 p. (In Russian).
- Ryazantsev A. V., Borisenok D. V., Dubinina S. V., Kalinina E. A., Kuznetsov N. B., Matveeva E. A., Aristov V. A. (2005). Obshchaya struktura Sakmarskoi zony YUzhnogo

- Urala v raione Mednogorskikh kolchedannykh mestorozhdenii [General structure of the South Uralian Sakmara zone in the Mednogorsk sulfide deposits area]. *Ocherki po regional'noi tektonike* [Essays on Regional Tectonics]. V. 1: YUzhnyi Ural. Moscow, Nauka. 84–135. (In Russian).
- Semenov I. V. (2000). Paleookeanicheskiy spredingoviy vulkanizm Urala i rekonstruktsiya parametrov Ural'skogo paleozoiskogo okeana [Paleoceanic Spreading Volcanism in the Urals: Implications for the Parameters of the Paleozoic Ural Ocean]. Ekaterinburg, UrO RAN. 362 p. (In Russian).
- Seravkin I. B., Kosarev A. M., Salikhov D. N., Znamensky S. E., Rodicheva Z. I., Rykus M. V., Snachev V. I. (1992). *Vulkanizm Juzhnogo Urala* [Volcanism of Southern Urals] M.: Nauka. 197 p. (In Russian).
- Seravkin I. B., Rodicheva Z. I. (1990). Krakinsko-Mednogorskii paleovulkanicheskiy poyas [A Kraka-Mednogorsk paleovolcanic belt]. Ufa, IG BNTS UrO AN SSSR. 53 p. (In Russian).
- Smirnova I. A., Cherkasov V. L., Tishchenko V. T. (1986). Eshche raz o geologicheskom stroenii i vozraste vulkanogenykh porod i kolchedannogo orudneniya Mednogorskogo rudnogo raiona [Once again about the geological structure and age of volcanic rocks and pyrite mineralization of the Mednogorsk ore region]. *Vulkanizm i metallogeniya geosinklinali* [Volcanism and metallogeny of geosynclines]. Ufa, BFAN SSSR. 82–92. (In Russian).
- KHain V. E., Lomize M. G. (2005). Geotektonika s osnovami geodinamiki [Geotectonics with the basics of geodynamics]. Uchebnik — 2-e izd., i dop. Moscow, KDU. 560 p. (In Russian).
- Kholodnov V. V., Shardakova G. Yu., Puchkov V. N., Petrov G. A., Shagalov E. S., Salikhov D. N., Korovko A. V., Pribavkin S. V., Rakhimov I. R., Borodina N. S. (2021). Paleozoiskii granitoidnyi magmatizm Urala kak otrazhenie etapov geodinamicheskoi i geokhimicheskoi evolyutsii kollizionnogo orogena [Paleozoic granitoid magmatism of the Urals: the reflection of the stages of geodynamic and geochemical evolution of a collisional orogen]. *Geodinamika i tektonofizika — Geodynamics and Tectonophysics*. 12 (2), 225–245. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-2-0522> (in Russian).
- Chesnokov B. V. (1963). Eklogity YUzhnogo Urala i ikh prakticheskoe znachenie. *Magmatizm, metamorfizm, metallogeniya Urala — Magmatism, Metamorphism, and Metallogeny of the Urals*, V. 3. Sverdlovsk, UFAN SSSR. 257–263. (In Russian).
- Chesnokov B. V., Popov V. A. (1965). Uvelichenie ob'ema zeren kvartsa v eklogitakh YUzhnogo Urala [Increasing volume of quartz grains in eclogites of the South Urals]. *Dokl. AN SSSR*. 62, 909–910. (In Russian).
- Fedorov P. V., Korinevskii V. G., Zolotarev B. P. (2017). Geochemistry of Early Devonian rocks of the Sakmara zone, South Urals. Geokhimiya rannedevonskikh kalievykh porod Sakmarskoi zony YUzhnogo Urala. *Geochemistry International*. 55 (4), 341–354. (In Russian). DOI: 10.1134/S0016702917020021
- Frolova T. I., Burikova I. A. (1997). Magmatische formatsii sovremennykh geotektonicheskikh obstanovok [Magmatic Formations of Modern Geotectonic Environments]: Uch. posobie. Moscow, MGU. 320 p. (In Russian).
- Udovkina N. G. (1985). Eklogity SSSR [Eclogites of the USSR]. Moscow, Nauka. 285 p. (In Russian).
- Chemenda A., Matte Ph., Sokolov V. (1997). A model of Paleozoic obduction and exhumation of high-pressure low temperature rocks. *Tectonophysics*. 276 (1–4), 217–227. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(97\)00057-7](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(97)00057-7)
- Fitton J. G., Saunders A. D., Norry M. J., Hardarson B. S., Taylor R. N. (1997). Thermal and chemical structure of the Iceland plume. *Earth and Planetary Science Letters*. 153 (3–4), 197–208. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(97\)00170-2](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(97)00170-2)
- Leech M. L., Ernst W. G. (2000). Petrotectonic evolution of the high-to ultrahigh-pressure Maksyutov Complex, Karayanova area, south Ural Mountains: structural and oxygen isotope constraints. *Lithos*. 52 (1–4), 235–252. [https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(99\)00093-6](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(99)00093-6)
- Pearce J. A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*. 100, 14–48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.016>
- Volkova N. I., Frenkel A. E., Budanov V. I., Lepezin G. G. (2004). Geochemical signatures for eclogite protolith from the Maksyutov Complex, South Urals. *Journal of Asian Earth Sciences*. 23 (5), 745–759. Doi: 10.1016/S1367-9120(03)00128-7

Сведения об авторах:

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

Тимофеева Евгения Анатольевна, ученый секретарь, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа.

Шафигуллина Гульнара Турдибаевна, кандидат геол.-минер. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. shafigullina_g@mail.ru

Даниленко Сергей Анатольевич, директор ООО «Оникс», г. Уфа. ds-min@yandex.ru

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. amkosarev@mail.ru

Timofeeva Eugenia Anatolievna, Scientific Secretary, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa.

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. shafigullina_g@mail.ru

Danilenko Sergei Anatol'ivech, director LLC «Onix», Ufa. ds-min@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.09.2023; одобрена после рецензирования 09.10.2023; принята к публикации 10.11.2023

The article was submitted 20.09.2023; approved after reviewing 09.10.2023; accepted for publication 10.11.2023