Научная статья
УДК 551.21+552.11
DOI 10.31084/2619–0087/2025-1-4

ЭЛЕМЕНТЫ ЦИКЛИЧНОСТИ ВУЛКАНИЗМА И КОЛЧЕДАНООБРАЗОВАНИЯ В САКМАРСКОЙ И МАГНИТОГОРСКОЙ МЕГАЗОНАХ ЮЖНОГО УРАЛА В РАННЕМ И СРЕДНЕМ ПАЛЕОЗОЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

А. М. Косарев[1], В. В. Холоднов[2], Е. С. Шагалов[2], К. Р. Минибаева[1], Г. Т. Шафигуллина[1]

[1] — Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2

[2] — Институт геологии и геохимии УрО РАН,620110, г. Екатеринбург, ул. акад. Вонсонского, 15, amkosarev@mail.ru

В работе дана краткая характеристика рядов вулканогенных формаций Сакмарской и Магнитогорской мегазон в раннем и среднем палеозое, рассмотрены геохимическая и металлогеническая направленность эволюции вулканизма. С позиций тектоники плит обсуждаются проблемы связи вулканизма с процессами рифтогенеза, субдукции, плюмового магматизма и колчеданообразования.

Ключевые слова: вулканизм, цикличность вулканизма, колчеданообразование, геодинамические реконструкции, вулканическая островная дуга

Благодарности: Работа выполнена в рамках программы государственного заказа ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2025–0014, государственного задания ИГГ УрО РАН тема № 123011800009–9.

Original article

ELEMENTS OF CYCLICITY OF VOLCANISM AND VOLCANIC HOSTED MASSIVE SULPHIDE FORMATION IN THE SAKMARSKAYA AND MAGNITOGORSKAYA MEGAZONES OF THE SOUTHERN URALS IN THE EARLY AND MIDDLE PALEOZOIC AND GEODYNAMIC RECONSTRUCTIONS

A. M. Kosarev[1], V. V. Kholodnov[2], E. S. Shagalov[2], K. R. Minibaeva[1], G. T. Shafigullina[1]

[1] — Institute of Geology, UFRC RAS, 16/2 K. Marx st., Ufa 450077, Russia,

[2] — Institute of Geology and Geochemistry IGG UB RAS, 620110, Ekaterinburg, Vonsonsky Str., 15 amkosarev@mail.ru

The paper provides a brief description of the series of volcanogenic formations of the Sakmara and Magnitogorsk megazones in the Early and Middle Paleozoic, and considers the geochemical and metallogenic direction of the evolution of volcanism. From the standpoint of plate tectonics, the problems of the relationship of volcanism with the processes of rifting, subduction, plume magmatism and volcanic hosted massive sulphide formation are discussed.

Keywords: volcanism, cyclicity of volcanism, volcanic hosted massive sulphide formation, geodynamic reconstructions, volcanic island arc

Для цитирования: *Косарев А. М., Холоднов В. В., Шагалов Е. С., Минибаева К. Р., Шафигуллина Г. Т.* Элементы цикличности вулканизма и колчеданообразования в Сакмарской и Магнитогорской мегазонах Южного Урала в раннем и среднем палеозое и геодинамические реконструкции // Геологический вестник. 2025. №1. С. 54–83. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-1-4

For citation: Kosarev A. M., Kholodnov V. V., Shagalov E. S., Minibaeva K. R., Shafigullina G. T. (2025) Elements of cyclicity of volcanism and volcanic hosted massive sulphide formation in the Sakmarskaya and Magnitogorskaya megazones of the Southern Urals in the Early and Middle paleozoic and geodynamic reconstructions. *Geologicheskii vestnik*. 2025. No. 1. P. 54–83. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-1-4

© А. М. Косарев, В. В. Холоднов, Е. С. Шагалов, К. Р. Минибаева, Г. Т. Шафигуллина, 2025

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state order program IG UFITS RAS No. FMRS-2025–0014 and the state assignment of the IGG UB RAS No. 123011800009–9.

Введение

Тектоно-магматические процессы формирования земной коры Урала в палеозое имели циклический характер. Полный цикл эволюции складчатого пояса от возникновения до закрытия океана получил название «цикл Вилсона» [Wilson, 1965; Дьюи, Берд, 1974; Хаин, Ломизе, 2005]. На Урале этот цикл реализовался в период от кембрия-ордовика — времени раскрытия океана, до силура-девона — периода островодужного вулканизма и колчеданоообразования, до карбона-перми — времени завершения коллизионных процессов [Пейве и др., 1977; Пучков, 2000, 2010]. На конечных этапах коллизионной стадии накапливаются формации, фиксирующие завершающую платформенную стадию.

Цикличность вулканизма имеет многопорядковый характер. Это и фациальная ритмичность в толщах туфов и тефроидов [Хворова, Ильинская, 1963; Косарев, Сопко, 1974]; более крупная (эруптивная) цикличность, проявленная в рамках толщ и свит, когда в нижней части разреза залегают основные и средние вулканические породы, включающие эффузивы и грубые вулканические брекчии, а в верхней, завершающей части разрезов, присутствуют кислые вулканические породы, либо вулканогенно-осадочные тефроидные песчаники, алевролиты, кремнистые алевролиты и яшмоиды. ***Средним*** циклам соответствуют пачки и толщи вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, слагающие свиты. ***Крупные*** циклы представляют собой формационные ряды или ряды свит, в которых обнаруживается фациальная, петрохимическая и геохимическая направленность эволюции составов пород и толщ, а в ряде случаев проявляется и структурно-металлогеническая цикличность. Последняя фиксируется эволюцией составов руд и месторождений колчеданной формации с варьирующими концентрациями Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ba, Au, Ag, подчеркивающими изменения в пределах циклов химического и сериального состава вулканических пород. По терминологии Д.С. Штейнберга [1974], обсуждавшего проблему цикличности магматизма, выделяемые нами циклы относятся к категории малых циклов. Д.С. Штейнберг предполагал возможность выделения силуро-раннедевонского и среднедевонского малых циклов, которые на Южном и Среднем Урале являются колчеданоносными. Петролого-геохимические особенности вулканитов, вместе с экспериментальными данными по плавлению мантийных субстратов [Bailey et al., 1989; Дриль, Елизарова, 2003], позволяют реконструировать геодинамические обстановки формирования вулканогенных и интрузивных комплексов и положение зон магмообразования в надсубдукционном мантийном клине. Одним из важнейших выводов, полученных по результатам палеовулканологических и палеогеодинамических реконструкций на Южном Урале [Косарев и др., 2005, 2006, 2009, 2014, 2022], является вывод о том, что главной причиной изменения составов вулканических комплексов, формирующихся в надсубдукционной зоне, является погружение слэба в мантию, что формирует P-T градиентную зону. Эта зона определяет положение зон магмогенерации и состав выплавляющихся магм [Абрамович, 1998]. Напряжения, возникающие в результате погружения субдукционной плиты, в направлении Аз. ~70° ВСВ (в современных координатах), передавались поверхностным структурам. Об этом говорит, наличие цепочек палеовулканов и рудно-магматических систем (РМС), охарактеризованных нами ранее [Косарев, Серавкин, 1994; Серавкин, Косарев, 2001; Серавкин и др., 2001]. Ещё ранее была дана характеристика вулканических сооружений, которые являются главной составной частью колчеданоносных РМС [Косарев, 1977; Сопко и др., 1983; Косарев, 1983; Серавкин, 1986; Серавкин и др., 1992, 2001]. Процессом субдукционного погружения на ВСВ обусловлено и появление северо-западных сколовых зон (СЗ, Аз. прост. около 340°) и дайковых поясов, ориентированных по нормали к северо-восточным цепочкам колчеданоносных РМС. Наиболее глубоко погруженные фрагменты зоны субдукции, проникающие в мантию до глубин 70–120 км от поверхности земли [Авдейко и др., 2006] продуцируют магмы исходные для формирования вулканогенно-интрузивных комплексов шошонитовой калиево-натриевой петрогенетической серии, а также высокобарические метаморфические комплексы эклогитового типа [Ленных, 1977; Добрецов, Кирдяшкин, 1994]. На Южном Урале с вулканическими комплексами шошонитовой серии, часто сочетающимися с кислыми вулканитами субщелочной и известково-щелочной серий, ассоциирует колчеданная золото-барит-полиметаллическая минерализация [Косарев и др., 2021]. Этот тип ассоциации, при стационарном характере проявления палеосубдукции [Хаин, Ломизе, 2005], является наиболее глубоко погруженным

в мантию, предположительно на 70–120 и более км [Авдейко и др., 2006; Богатиков и др., 2010]. В целом по петролого-геохимическим, металлогеническим и палеогеодинамическим материалам Сакмарской зоны и Магнитогорской мегазоны намечается ряд вулкано-интрузивных и протрузивных комплексов, дающих информацию о глубинности зарождения в надсубдукционной и возможно, в субдукционной зоне магм и надсубдукционных мантийных диапиров.

Материал и методика исследований

В данной работе проведено обобщение литературных и авторских геологических, структурно-тектонических данных по строению Сакмарской и Магнитогорской зон Южного Урала, проанализированы петрогеохимические особенности вулканических пород, являющихся в раннем палеозое важной составной частью свит этого сектора. Значительная часть данных опубликована в работах авторов при описании отдельных объектов. Сведения о содержании петрогенных и редких элементов получены методами химического, рентгено-флуоресцентного, атомно-абсорционного, нейтронно-активационного и ICP-MS анализов в лабораториях ИГЕМ (Москва), ГЕОХИ (Москва), ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Большинство анализов на главные и малые элементы в разные годы были выполнены в Центре коллективного пользования (ЦКП) «Геоаналитик» Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург.

Предварительная авторская интерпретация геологических данных подтверждена геохимическими данными. Для геодинамической типизации и установления особенностей источников магм использован ряд известных дискриминантных диаграмм (см. ссылки в подрисуночных подписях), а также диаграмма Y — Nb [Холоднов и др., 2021] и реперными точками основных геодинамических типов источников (N-MORB, E-MORB, OIB, по [Sun, McDonough, 1989].

Цикличность вулканизма и положение колчеданных месторождений в Сакмарской и Магнитогорской мегазонах в нижнем и среднем палеозое

В разрезе Сакмарской и Магнитогорской мегазон выделяются четыре полных **крупных** вулканических цикла: 1 — кембрийско-раннедевонский ($Є$ — D_1e_1); 2 — раннедевонско-среднедевонский (D_1e_2 — $D_2ef_1ir_{5\text{-}6}$); 3 — среднедевонско-верхнедевонский (D_2ef_2 — D_3f_1); 4 — верхнедевонский (D_3f — fm — C_1). Первый цикл проявился в Сакмарской зоне, второй, третий главным образом, в Магнитогорской и в виде остаточных явлений, в Сакмарской зоне, четвертый цикл представлен в Восточно-Магнитогорской зоне и в пределах Восточно-Уральского поднятия.

Вулканический цикл по В. И. Влодавцу [1984, с. 308], это «прерывисто развивающийся процесс различной продолжительности, осложненный более мелкими фазами вулканизма. На вулканический цикл, усложняя его, накладывается дифференциация магмы в вулканических очагах, определяющая периодичность вулканической деятельности отдельных вулканов».

В рассматриваемом случае в разрезах палеозойских вулканогенных формаций Южного Урала, проявления цикличности фиксируются присутствием базальтов или ультрабазитов в начале циклов, наличием пород андезибазальт-андезитового состава в средней части циклов и кислых пород, реже калиевых базальтов и андезибазальтов в завершающих фрагментах разрезов вулканогенных формаций. Четыре формационных ряда, перечисленные выше, завершаются вулканитами повышенной щелочности шошонитовой серии различной основности.

В геологических разрезах Южного Урала нами установлены следующие элементы цикличности.

1. Начало крупных циклов: высокотитанистые траппоиды, океанические плато-базальты ($Є$ — O — S_1, Медногорский рудный район). В Вознесенско-Присакмарской зоне шло формирование Co — (Ni) — Cu-колчеданных руд. В Кизило-Уртазымской зоне Магнитогорского мегасинклинория формируется внутридуговый спрединговый карамалыташский вулканический комплекс, сложенный субокеаническими умеренно-титанистыми, а на колчеданных рудных полях, низкотитанистыми толеитовыми островодужными базальтами [Косарев и др., 2014, 2022].

2. Средняя часть крупных циклов — островодужные, низкотитанистые базальты, андезито-базальты, андезиты (Медногорский, Бурибайский, Баймакский, Гайский рудные районы.

3. Кислые породы умеренно-низкокалиевые — верхняя часть малых циклов, нередко ассоциирующаяся с колчеданным оруденением (Баймакский, Бурибайский, Сибайский, Александринский, Учалинский, Верхнеуральский районы).

4. Завершение крупных циклов — вулканиты шошонитовой серии, иногда с большими объемами кислых субщелочных высококалиевых, высоконатриевых, калиево-натриевых пород (Восточно-Подольское рудное поле, Джусинский рудный район).

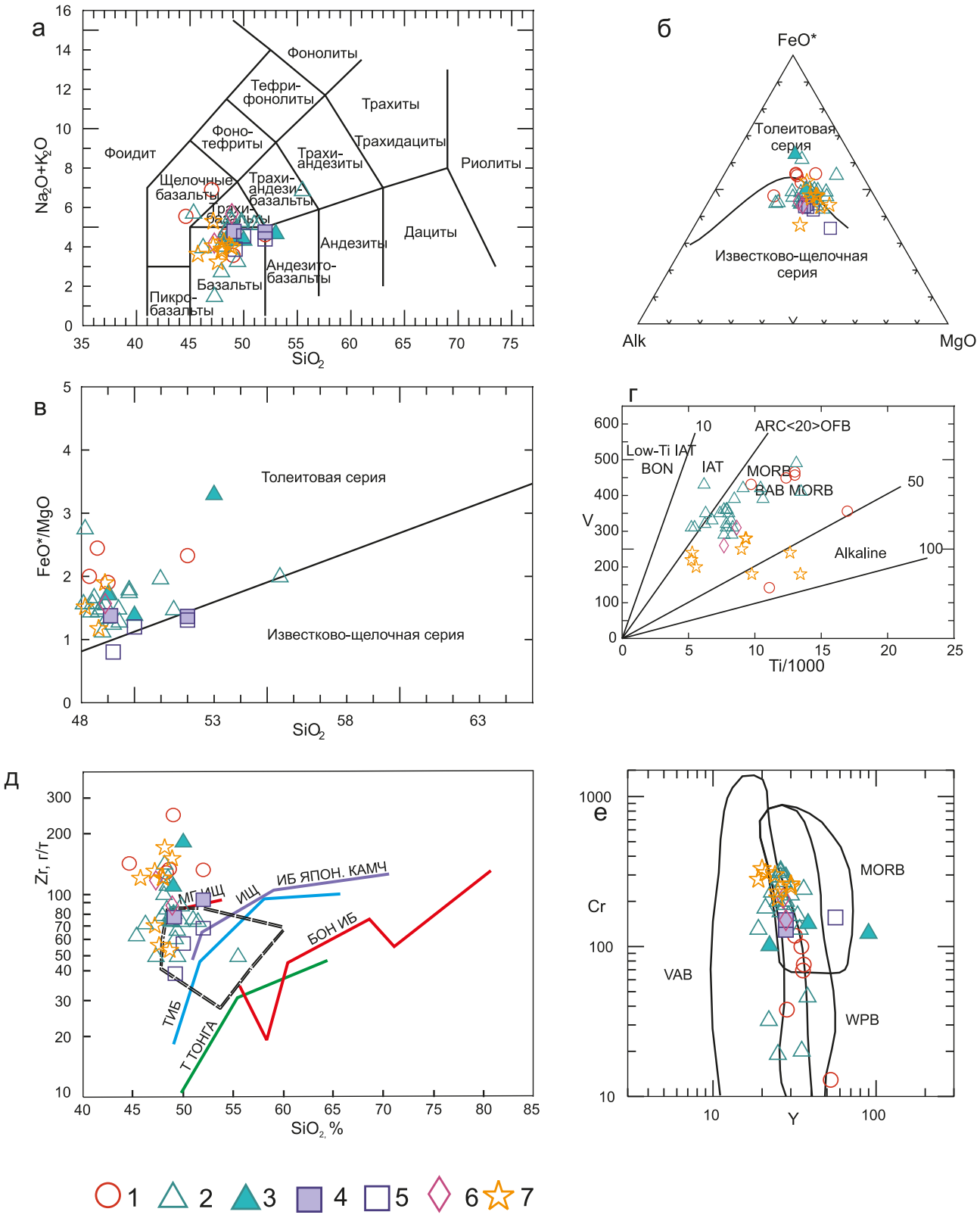
5. Конец крупных циклов — Ва-полиметаллическое колчеданное оруденение.

В двух первых крупных циклах (1 — Є — O — S — D_1e_1; 2 — D_1e_2 — D_2ef_1) и, возможно, в третьем (3 — D_2ef_2 — D_3f_1) и четвертом (4 — D_3f_1 — D_3fm — C_1) на завершающей стадии формируются толщи вулканитов кислого состава шошонитовой серии. С учетом геодинамических материалов, приведенных в работе [Авдейко и др., 2006], а также структурно-геологических материалов по Южному Уралу [Сопко и др., 1983; Серавкин, 1986; Серавкин и др., 1992, 1994, 2001; Косарев и др., 2014, 2021, 2022, 2023, 2024] на завершающем этапе формирования крупных циклов проявляются следующие элементы формационного и структурного характера: 1 — предполагается, что на глубине, в пределах слэба, закладывается излом субдукционной плиты, ниже которого угол погружения субдукционной плиты заметно увеличивается, а глубина кровли слэба достигает глубин 70 км и более. Такие глубины характерны для магмообразования вулканических пород шошонитовой серии и эклогитового метаморфизма [Рингвуд, 1981; Иванов, 1998; Авдейко и др., 2006; Волкова и др., 2001; Ковалев и др., 2011]; 2 — разлом, ограничивающий блок с вулканитами шошонитовой серии, на Подольском рудном поле и в Восточно-Магнитогорской тектонической зоне имеет черты сдвига (Восточно-Подольское рудное поле), сдвиго-сброса (Валитовский участок) и малоамплитудного сдвига (восточное подножье горы Траташ), наблюдения С. Е. Знаменского [Серавкин и др., 2001]. В зоне Восточно-Ирендыкского разлома, в районе д. Файзуллино [Косарев и др., 2020] присутствуют высококалиевые эффузивные базальты и андезиты ирендыкской свиты.

На Южном фланге Восточно-Подольского колчеданного месторождения, зона разлома вскрыта скважиной П-12. Под толщей флишоидной терригенно-тефроидной улутауской свиты эта скважина прошла около 1000 м по серицит-кварцевым метасоматитам неясного генезиса. При бурении скважины П-12 произошли выбросы метана, что может говорить о глубинном характере этой тектонической зоны. На юг характеризуемый разлом (Султангузинский) следится до широты Гайского рудного поля, как пограничный, между толщами гайского (D_1e_2) и калиновского (D_2ef_2, карамалыташского) вулканических комплексов и между Таналыкским поднятием и Кизило-Уртазымской структурной зоной.

Первый цикл. Элементы цикличности в геологических разрезах Сакмарской зоны. Основы стратиграфии Сакмарской зоны заложены работами Н. И. Леоненок, Х. С. Розман, Р. А. Сегедина, Е. В. Лермонтовой, Г. И. Водорезова, А. А. Абдулина, В. Г. Кориневского, А. Д. Петровского, В. Н. Пучкова, К. С. Иванова и многих других исследователей. Главными причинами трудностей в изучении этой зоны, по нашему мнению, являются напряженная тектоника различного масштаба, неполная обнаженность, и широкий диапазон фациальных и петрографических типов пород. Существенно пополнилось фаунистическое обоснование геологических разрезов Кракинско-Медногорского пояса Сакмарской зоны в связи с активным изучением граптолитовой и конодонтовой фауны в кремнистых и известковистых фациях [Пучков, Иванов, 1983; Иванов и др., 1986; Пучков, 2010; Маслов и др., 1993; Маслов, Артюшкова, 2010; Артюшкова, 2014]. Параллельно со стратиграфическими исследованиями на Южном Урале широко развернулись палеовулканологические и металлогенические работы [Прокин, 1977; Сопко и др., 1983; Серавкин, 1986; Серавкин и др., 1992]. В данной работе, за основу принята модель формирования северной части Сакмарской зоны, разработанная И. Б. Серавкиным с соавторами [1992] с учетом геологических и стратиграфических материалов, перечисленных выше. Последовательность эволюции вулканизма в кембрии — раннем эмсе соответствует стандартному варианту: континентальный рифтогенез — океанический рифтогенез — островодужный толеитовый и известково-щелочной вулканизм над зоной субдукции — калиевый шошонитовый вулканизм в тыловой островодужной зоне.

Самое низкое стратиграфическое положение в разрезе палеозоя, занимают *рифтогенные континентальные (Є) и океанические (O_2 — S_1)* формации (рис. 1, 2). Континентально-рифтогенный комплекс в 1991 г. был датирован верхним кембрием по находкам конодонтов В. Н. Пучковым [2000]. Опубликованные Е. В. Чибриковой и В. А. Олли [1999] сведения о находках тремадокских акритарх в терригенном мелкообломочном матриксе тереклинской свиты, позволяют предполагать позднекембрийско-тремадокский общий возраст толщ, содержащих фрагменты разреза (олистоплаки) кембрийских толщ. Таким образом, резуль-


а
Фонолиты
Тефри-фонолиты
Трахиты
Фоно-тефриты
Трахидациты
Фоидит
Трахи-андезиты
Риолиты
Щелочные базальты
Трахи-андези-базальты
Трахи-базальты
Дациты
Андезиты
Андезито-базальты
Базальты
Пикро-базальты
Na2O+K2O
SiO2
б
FeO*
Толеитовая серия
Известково-щелочная серия
Alk
MgO
в
Толеитовая серия
Известково-щелочная серия
FeO*/MgO
SiO2
г
ARC<20>OFB
10
Low-Ti IAT
BON
IAT
MORB
BAB MORB
50
Alkaline
100
V
Ti/1000
д
МГ-ЩЩ
ИЩ
ИБ ЯПОН. КАМЧ
БОН ИБ
ТИБ
Т ТОНГА
Zr, г/т
SiO2, %
е
MORB
Cr
VAB
WPB
Y
1 2 3 4 5 6 7

таты изучения кембро-ордовикской части разреза в Медногорском рудном районе Сакмарской зоны позволяет сделать вывод, что континентальный рифт кембро-раннеордовикского времени (медногорская свита), перерастает в средне-верхнеордовикский рифт океанического типа (баулуская свита).

Основные породы медногорского комплекса относятся к континентальной трапповой формации [Косарев, 2015] умеренно-щелочной серии натриевого типа с высокой FeO (13.5–18.7 мас. %), низкой магнезиальностью MgO — 3.7–5.4 мас. %), Ni — 17–54 г/т, Co — 23 г/т, Ni/Co — 2.3, La/Yb — 1.8–3.2, TiO_2–1.45–3.25 мас. %, MnO — 0.92 мас. %, Zr 128–142 г/т, Nb 6.6–12.5 г/т, Ba — 1040 г/т. Габбро-сиениты медногорского комплекса на диаграмме Zr/Y — Nb/Y [Fitton et al., 1997] близки к рециклинговому плюму (Nb — 80.2 г/т; Y — 36 г/т).

Этап океанического рифтогенеза проявился на Южном Урале в ордовик-силурийское время. Вулканогенная баулуская свита (O_{2-3}ba) датируется по находкам конодонтовой фауны [Маслов, Артюшкова, 2010] в разрезах северной части Сакмарской зоны, в западном борту Блявинского карьера и на Комсомольском месторождении. Наряду с пиллоу-базальтами, свита сложена вулканогенно-осадочными туффитами серо-зеленого и вишнево-красного цвета, аналогичными кураганской свите, мощность баулуской свиты 50–200 м и более.

Баулуский вулканический комплекс характеризует океаническую стадию Сакмарской зоны. По данным И. Б. Серавкина с соавторами [1992], Рязанцева с соавторами [2005], А. М. Косарева [2015], базальты представлены главным образом оливинсодержащими разновидностями, относящимися к толеитовой и умеренно-щелочной сериям, K_2O+Na_2O варьирует в интервале 3.95–5.42 мас. %. По соотношениям инертных компонентов (Ti, Zr, Cr, Y) большинство этих основных пород относится к океаническому типу (TiO_2 1.03–1.77, достигая 2.25 мас. %) и принадлежит к толеитовой серии, характеризуясь хондритовым типом распределения микроэлементов на спайдердиаграммах [Косарев, 2015].

Концентрации MnO в базальтах повышены (MnO 0.18–0.3 мас. %), но не столь высоки как в континентальных базальтах медногорского комплекса. По сравнению с базальтами медногорского комплекса, в баулуских базальтах установлены пониженные концентрации Zr, Ti, Nb, что характерно для базальтов океанических обстановок.

В ряде проб [Косарев, 2015, рис. 4в, г; 4д, е] наблюдается возрастание количеств элементов с крупными ионными радиусами (КИР), при слегка пониженных Nb и других высокозарядных элементов (ВЗЭ), что можно рассматривать как слабый островодужный тренд, установленный и в базальтах поляковского комплекса. В целом эту группу баулуских базальтов в геодинамическом аспекте

Рис. 1. Особенности химизма базальтов вулканических комплексов, слагающих Кракинско-Медногорский пояс Сакмарской зоны. Диаграммы TAS (а), AFM (б), SiO_2 — FeO*/MgO (в), Ti/1000 — V (г), SiO_2 — Zr (д), Y — Cr (е)

Условные обозначения: 1 — базальты медногорской свиты, 2 — базальты баулуской свиты [Рязанцев и др., 2005], 3 — базальты баулуской свиты [Косарев, 2015], 4 — базальты карамолинского комплекса южной стенки Блявинского карьера [Косарев, 2015], 5 — базальты блявинского комплекса юго-восточной стенки Блявинского карьера [Косарев, 2015], 6 — базальты дергаишской свиты [Борисенок, Рязанцев, 2005], 7 — базальты губерлинской свиты [Борисенок, Рязанцев, 2005]. Штриховой контур (д) — бонинитовые базальты и вариолиты бурибайского комплекса.

Сокращения: Low-Ti IAT — низкотитанистые толеитовые базальты островных дуг; BON — бонинитовая, IAT — толеитовые базальты островных дуг; ARC — островная дуга, OFB — базальты океанического дна, MORB — базальты срединно-океанических хребтов, BAB MORB — базальт задугового бассейна островных дуг и срединно-океанических хребтов, VAB — базальты вулканических островных дуг, WPB — внутриплитные плато-базальты, ИЩ — известково-щелочная МГИЩ — магнезиальная известково-щелочная Камчатки; ТИБ — толеитовая Идзу-Бонинской островной дуги, ИЩ ИБ ЯПОН КАМЧ — известково-щелочная Идзу-Бонинской, Японской и Камчатской островной дуги; БОНИБ — бонинитовая Идзу-Бонинской островной дуги; Т ТОНГА — толеитовая островной дуги Тонга.

Fig. 1. Features of chemistry of basalts of volcanic complexes composing the Krakino-Mednogorsk belt of the Sakmara zone. Diagrams TAS (a), AFM (б), SiO_2 — FeO*/MgO (в), Ti/1000 — V (г), SiO_2 — Zr (д), Y — Cr (е)

Legend: 1 — basalts of the Mednogorsk formation, 2 — basalts of the Baulus formation [Ryazantsev, Borisenok, 2005], 3 — basalts of the Baulus formation [Kosarev, 2015], 4 — basalts of the Karamolinsky complex of the southern wall of the Blavinsky quarry [Kosarev, 2015], 5 — basalts of the Blyavinsky complex of the southeastern wall of the Blyavinsky quarry [Kosarev, 2015], 6 — basalts of the Dergaish suite [Borisenok, Ryazantsev, 2005], 7 — basalts of the Guberlinsky suite [Borisenok, Ryazantsev, 2005]. Dashed contour (e) — boninite basalts and variolites of the Buribay complex.

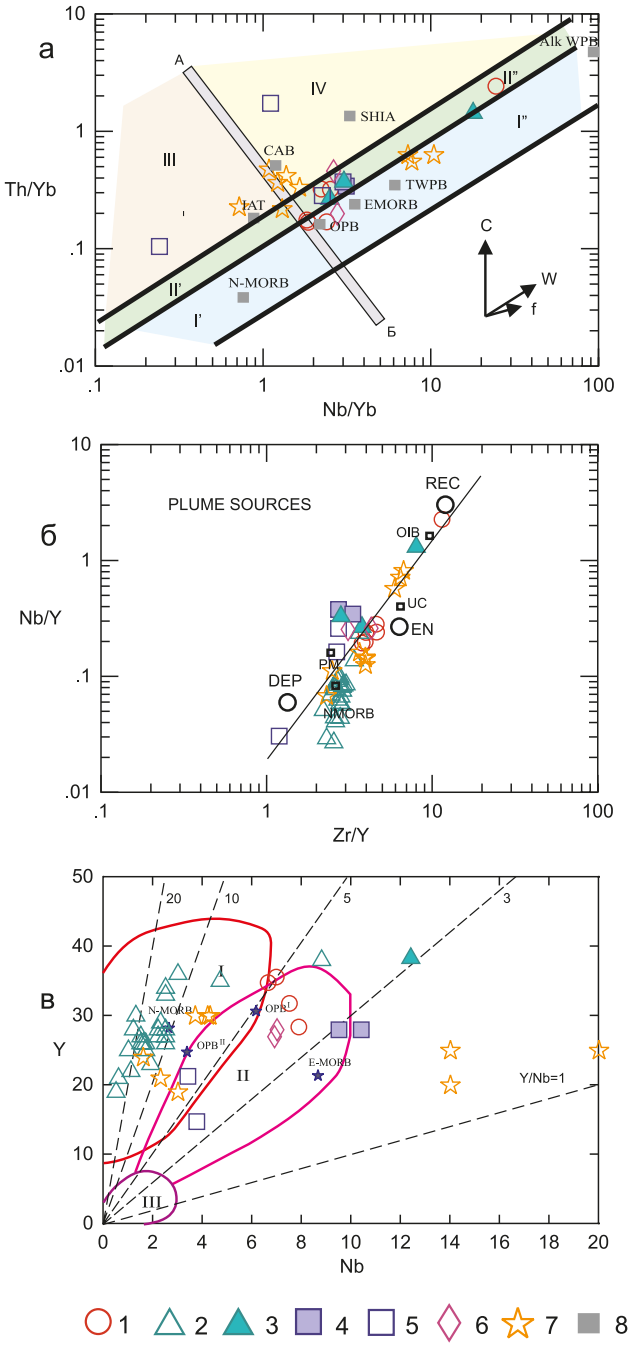
Abbreviations. Low-Ti IAT — low-Ti tholeiitic island arc basalts; BON — boninitic, IAT — tholeiitic island arc basalts; ARC — island arc, OFB — ocean floor basalts, MORB — mid-ocean ridge basalts, BAB MORB — back-arc basin basalt of island arcs and mid-ocean ridges, VAB — volcanic island arc basalts, WPB — within-plate plateau basalts, ИЩ — calc-alkaline МГИЩ — magnesian calc-alkaline Kamchatka; ТИБ — tholeiitic Izu-Bonin island arc, ИЩ ИБ ЯПОН КАМЧ — calc-alkaline Izu-Bonin, Japanese and Kamchatka island arcs; БОНИБ — boninite of the Izu-Bonin island arc; Т ТОНГА — tholeiitic of the Tonga island arc.

можно классифицировать как обнаруживающую слабый островодужный уклон, связанный, скорее всего, с присутствием небольших количеств воды в зоне магмообразования.

Карамолинский вулканический комплекс (S_1ln) выделен в ранге толщи или свиты [Каракулина, Никитин, 1985; Смирнова и др., 1986; Серавкин, Родичева, 1990], сопоставляется с дергаишской свитой, изученной В. Т. Тищенко в районе д. Мазово, на западном крыле Магнитогорской мегазоны. По геологическим соотношениям с сакмарской свитой, карамолинский комплекс датируется $S\text{-}D_1$ [Серавкин и др., 1992] и включается в качестве надрудной толщи в блявинскую свиту. По нашему мнению, этот вулканический комплекс следует исключить из состава блявинской свиты, в связи с тем, что по данным Ю. П. Белькова [1978] и С. А. Даниленко [1991] эти толщи, датированные граптолитовой фауной [Бородаев и др., 1963] залегают на вулканитах блявинской свиты с тектоническим контактом. Конодонты ордовика, собранные А. В. Рязанцевым с соавторами [2005], скорее всего, залегают в тектоническом клине [Косарев и др., 2023] и не могут датировать рудоносные толщи Блявинского и Комсомольского колчеданных месторождений.

В Медногорском рудном районе базальты карамолинского комплекса входят в состав офиолитовой ассоциации и по ряду геохимических характеристик (повышенные концентрации TiO_2 1.5–2.7 мас. % и MnO 0.14–0.73 мас. %, Ni 14–86 г/т, Cr 10–230 г/т, Co 10–49 г/т) сходны с баулускими базальтами. Низкие концентрации микроэлементов в отдельных пробах являются, скорее всего, следствием их частичного выноса при аллохимическом метаморфизме [Серавкин, Родичева, 1990] или аналитическими артефактами. Карамолинские базальты относятся к океаническому типу, ассоциируются с фтанитами и многочисленными протрузиями ультрабазитов и эдафогенными брекчиями серпентинитов, что в совокупности характеризует фации глубоководного желоба и свидетельствует об активном формировании (заложении) в раннем силуре субдукционной зоны [Мурдмаа, 1987; Хаин, Ломизе, 2005].

Блявинский колчеданоносный вулканический комплекс или свита, выделенная А. Д. Петровским, наиболее детально изучена на Блявинском и Комсомольском колчеданных рудных полях [Бородаев и др., 1963; Яковлев, Гончарова, 1965; Кропачев и др., 1968; Каракулина, Никитин, 1985; Серавкин и др., 1992]. В работах [Бельков, 1978; Даниленко, 1991; Серавкин, Родичева, 1990; Серавкин и др., 1992; Рязанцев и др., 2005] обсуждаются детали структурного строения Блявинского и Комсомольского рудных полей, с учетом современных данных. Нами принимается за основу вариант интерпретации геологических материалов по Блявинскому рудному полю, предложенный И. Б. Серавкиным [1992], с учетом сведений, изложенных в работах [Бельков, 1978; Даниленко, 1991; Рязанцев и др., 2005]. Основные положения этой модели заключаются в следующем:



1. Рудовмещающая блявинская свита и колчеданное оруденение имеют силурийский возраст, а верхняя и средняя части надрудной зоны относятся к баулуской свите ордовика и к карамолинской толще (дергаишская свита) раннего силура.

2. Граница между блявинской низкотитанистой базальт-андезит-дацит-риолитовой толщей, вмещающей колчеданные залежи Блявинского и Комсомольского месторождений и верхней ордовик-силурийской толщей высокотитанистых базальтов, включающей фрагменты баулуской свиты и карамолинской толщи, проходит по разрывному нарушению сдвиго-надвигового типа [Бельков, 1978; Даниленко, 1991; Косарев и др., 2023]. К этой зоне приурочены и прослои кремнистых пород с конодонтами ордовика [Рязанцев и др., 2005], представляющие, вероятно, тектонический клин и не датирующие всю надрудную и рудовмещающую зону Комсомольского и Блявинского месторождений [Косарев и др., 2023].

3. Нижнюю (подрудную) базальтовую толщу, индексируемую как первая толща блявинской свиты и содержащую раннесилурийские (S_1ln) граптолиты [Бородаев и др., 1963] видимо, следует отождествлять с верхней надрудной (карамолинской) толщей ландоверийского возраста.

Обсуждая перечисленные выше положения, следует сделать вывод о том, что собственно рудоносный комплекс Блявинского и Комсомольского колчеданных месторождений включает лишь вторую и третью толщи, выделенные по данным Ю. П. Белькова и С. А. Даниленко с использованием материалов В. П. Сементина и В. А. Воронова. Эти толщи включают низкотитанистые островодужные базальты из надрудной зоны Блявинского и Комсомольского месторождений и полифациальные кислые породы, слагающие рудовмещающие толщи тех же месторождений.

4. Вулканиты блявинской свиты относятся к толеитовой и известково-щелочной сериям остро-

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] в базальтах вулканических комплексов, слагающих Кракинско-Медногорский пояс Сакмарской зоны

Условные обозначения: 1 — базальты медногорской свиты, 2 — базальты баулуской свиты [Рязанцев и др., 2005], 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 дергаишской свиты [Борисенок, Рязанцев, 2005], 7 — базальты губерлинской свиты [Борисенок, Рязанцев, 2005].

Стандартные составы базальтов различных геодинамических обстановок: а) NMORB — нормальные толеитовые базальты СОХ; EMORB — обогащенные базальты СОХ. 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; б) сокращения, источники: DEP — деплетированный; REC — рециклинговый; EN — обогащенный; OIB — базальты океанических островов; UC — состав верхней коры; PM — примитивная мантия; в) NMORB — нормальные толеитовые базальты СОХ; EMORB — обогащенные базальты СОХ; OPB — базальты подводных океанических плато [Богатиков и др., 2010]. Поле I — островодужные комплексы Тагильской вулканогенной зоны [Холоднов и др., 2021]. Поле II — рифтогенный габбро- (сиенит) — гранитоидный магматизм «мантийных окон». Поле III: Волковский габбровый массив Платиноносного пояса Урала (ППУ); Тагильский (444–430 млн лет) габбро-диоритовый массив (Юрьевский Камень); массивы ЛАП-серии в составе 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] in the basalts volcanic complexes that make up the Krakino-Mednogorsk belt of the Sakmara zone

Legend: 1 — basalts of the Mednogorsk Formation, 2 — basalts of the Baulus Formation [Ryazantsev et al., 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 Blyavino complex, southeastern wall of the Blyavinsky quarry [Kosarev, 2015], 6 — basalts of the Dergaish Formation [Borisenok, Ryazantsev, 2005], 7 — basalts of the Guberlinskaya Formation [Borisenok, Ryazantsev, 2005].

Standard compositions of basalts from different geodynamic settings: a) NMORB — normal tholeiitic basalts ROH; 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 transitional basalts; 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; б) abbreviations, sources: DEP — depleted; REC — recycling; EN — enriched; OIB, ocean island basalts; UC is the composition of the upper crust; PM, primitive mantle; в) NMORB, normal tholeiitic basalts MOR; EMORB, enriched MOR basalts; OPB, submarine oceanic plateau basalts [Bogatikov et al., 2010]. Field I — island-arc complexes of the Tagil volcanogenic zone [Kholodnov et al., 2021]. Field II — riftogenic gabbro- (syenite) — granitoid magmatism of «mantle windows». Field III: Volkovsky gabbro massif of the Urals Platinum Belt (PBU); Tagil (444–430 million years) gabbro-diorite massif (Yuryevsky Kamen); LAP-series arrays as part of PBU.

водужного типа. Основные особенности химизма базальтов блявинской свиты сводятся к следующему: 1 — базальты принадлежат к известковощелочной и толеитовой островодужной сериям (TiO_2 0.26–0.5–1.2 мас. %) [Серавкин и др., 1992; Даниленко, 1991; Косарев и др., 2023], что видно на диаграммах: AFM; Mn — Ti — P; Cr — Ti; SiO_2 — FeO'/MgO; MgO — SiO_2; 2 — на диаграмме Zr/Y — Nb/Y [Fitton et al., 1997], базальты располагаются в поле плюмовых составов вблизи стандарта PM; 3 — на диаграмме Nb — Y [Холоднов и др., 2021] эти базальты располагаются в поле II «мантийных окон».

5. Базальты «верхней надрудной толщи» Блявинского колчеданного месторождения относятся к высокотитанистому типу (TiO_2 1.25–2.3 мас. %), залегают выше плоскости разрывного нарушения (надвига) и по химизму близки к базальтам баулуской свиты. В ее составе присутствуют многочисленные линзы протрузивных серпентинитов, а в прослоях глинисто-известковистых сланцев содержатся граптолиты S_1ln [Бородаев и др., 1963]. Базальты с повышенным TiO_2 относятся к маловодному типу, нехарактерному для колчеданоносных комплексов Южного Урала [Косарев и др., 2005, 2006, 2022], так как низкие содержания воды не способствуют формированию флюидной фазы в составе поднимающегося мантийного диапира и экстракции рудогенных элементов из слэба и мантийного клина.

В пробе 43–5/7 [Косарев, 2015], отобранной в ЮВ стенке Блявинского карьера (уступ 7), базальты надрудной толщи, залегающие ниже толщи базальтов, датированных S_1ln, по граптолитам [Бородаев и др., 1963], имеют хорошо выраженные характеристики надсубдукционных островодужных базальтов. Этот вывод обосновывается геохимическими особенностями вулканитов: обогащением базальтов легкими редкоземельными элементами (ЛРЗЭ) и КИР (La, Ce, Pr, Nd, Cs, Th, U, Ba) и наличием отрицательных аномалий Nb и Zr. Отрицательные геохимические аномалии Sr и Rb в тех же базальтах, скорее всего, связаны с аллохимическим характером метасоматических изменений рудовмещающих вулканитов, сопровождающих процессы колчеданообразования.

Одновозрастные с блявинской свитой вулканические комплексы Сакмарской зоны немногочисленны и слабо изучены. Наиболее распространен и известен байтерекский тип разреза силурийского возраста, сложенный вулканитами базальтового, андезибазальтового и андезитового составов и кислыми породами полифациального типа [Иванов и др., 1986; История развития…, 1984].

Более представительны геологические и геохимические материалы по Среднему и Северному Уралу [Кусков, 1982; Петров, 2022], где выделяются вулканогенные свиты шемурская (O_2-S_1), павдинская (S_1), именновская (S_{1-2}). Вулканиты шемурской свиты представлены преобладающими высокотитанистыми океаническими базальтами (TiO_2 > 1.2 мас. %) в нижней части разреза и низкотитанистыми (TiO_2 < 1 мас. %) в верхней дифференцированной части разреза, что соответствует островодужным базальтам. В целом геологическая обстановка Шемурского рудного поля по геохимическим особенностям базальтов и фациальным типам пород очень похожа на Блявинское рудное поле. Особо следует отметить как на Шемурском рудном поле, так и на Блявинском, наличие базальтов океанического типа с повышенным TiO_2 и островодужного типа с низким (<1 мас. %) TiO_2.

Черты «переходности» от океанических к островодужным базальтам, что отмечается в работах И. Б. Серавкина [Серавкин и др., 1992], Г. А. Петрова [2022] и А. М. Косарева [2015] нуждаются в уточнении. Присутствие же в разрезах карамолинский толщи пластовых, линзовидных протрузий серпентинизированных ультарабазитов, кремнисто-обломочных и серпентинитообломочных эдафогенных брекчий [Косарев, 2018], позволяет сделать вывод о фациальном сходстве разреза карамолинской толщи с современными разрезами глубоководных желобов Западно-Тихоокеанского региона [Мурдмаа, 1987]. Это сходство дает основание предполагать, что карамолинская толща и нижняя толща шемурской свиты фиксируют время заложения зоны субдукции восточного падения на Северном, Среднем и Южном Урале.

Выше вулканитов блявинской свиты в разрезе по р. Херсонка располагаются кремнисто-обломочные брекчии ***акчуринской толщи*** (D_1lh_2-D_1e_1) [Маслов и др., 1993]. Заметное преобладание в составе обломков акчуринской толщи кремнистых пород с конодонтами и граптолитами и алевролитов (до 95%), позволил И. В. Хворовой [1974] классифицировать кремнисто-обломочные породы акчуринской толщи, как эдафогенные брекчии. В виде примеси в брекчиях присутствуют обломки серпентинизированных ультрабазитов. Выше акчуринской толщи залегает чанчарский комплекс.

Чанчарский вулканический комплекс (D_1cn ems$_1$) относится к шошонитовой и фонолитовой сериям. Этот комплекс, сложенный субщелоч-

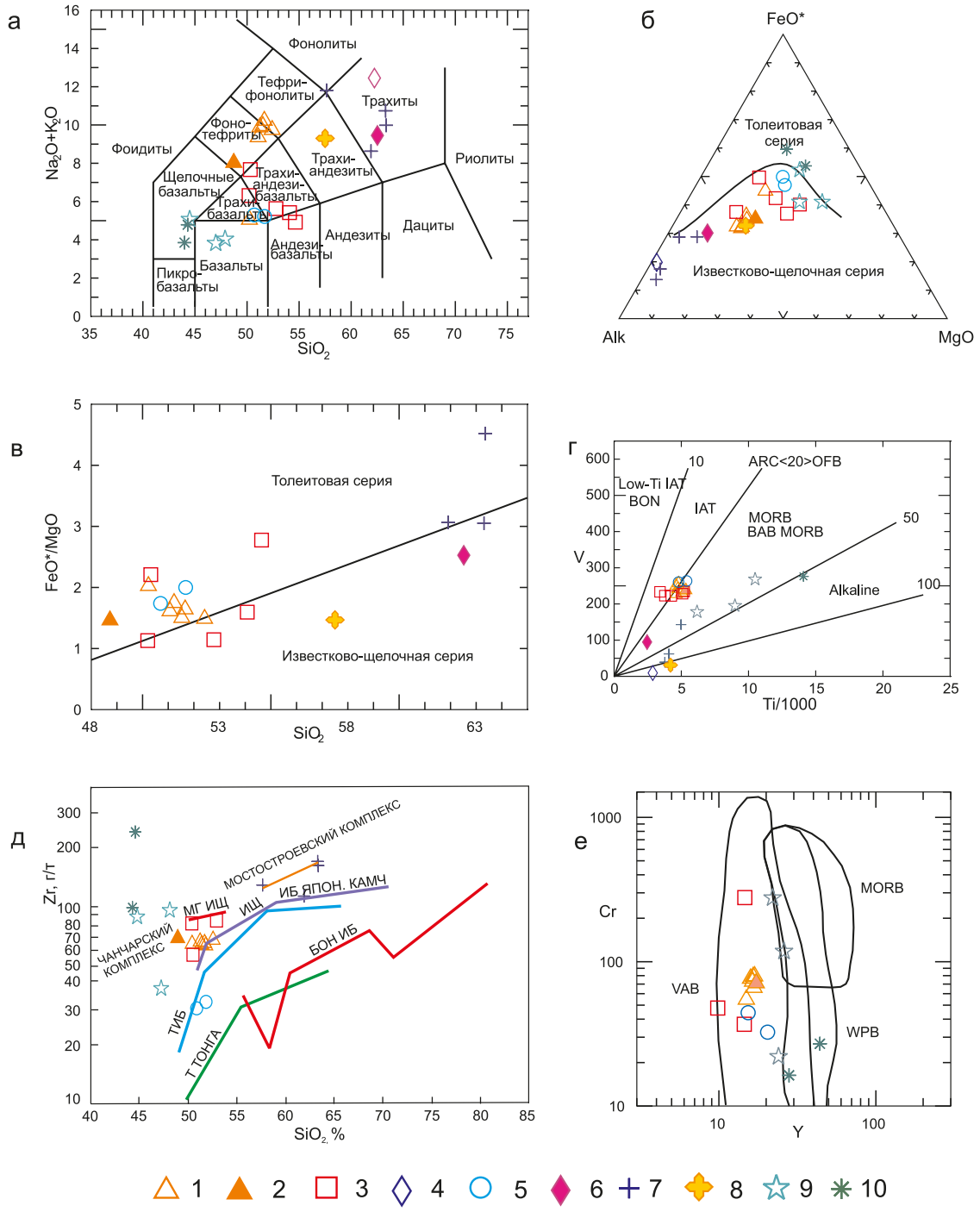


Рис. 3. Особенности химизма пород чанчарского, мостостроевского, джаилганского комплексов. Диаграммы TAS (а), AFM (б), SiO_2 — FeO*/MgO (в), Ti/1000 — V (г), SiO_2 — Zr (д), Y — Cr (е)

Условные обозначения: 1–6 — чанчарский комплекс [Федоров и др., 2017]: 1 — чанчариты, 2 — стекло, 3 — трахибазальты, 4 — трахит, 5 — эссекситы, 6 — сиенит; 7 — трахиты мостостроевского комплекса [Косарев, 2007]; 8 — латит эффузивный из олистолита района д. Байгускарово, мостостроевский комплекс; 9 — базальты домбаровского комплекса; 10 — базальты джаилганского комплекса. Сокращения см. рис. 1.

Fig. 3. Features of the chemistry of the rocks of the Chanchar, Mostostroy, and Dzhailgan complexes. Diagrams TAS (a), AFM (б), SiO_2 — FeO*/MgO (в), Ti/1000 — V (г), SiO_2 — Zr (д), Y — Cr (е)

Legend: 1–6 — Chanchar complex [Fedorov et al., 2017]: 1 — chancharites, 2 — glass, 3 — trachybasalts, 4 — trachyte, 5 — essexites, 6 — syenite; 7 — trachytes of the Mostostroy complex [Kosarev, 2007]; 8 — effusive latite from the olistolith of the area of the village of Baiguskarovo, the bridge building complex; 9 — Dombarovsky complex; 10 — Jailgan complex. For abbreviations see Fig. 1.

ными высококалиевыми вулканическими породами (рис. 3, 4) был выделен и охарактеризован В. Г. Кориневским [1971]. Следует сказать, что ранее, вулканиты с высоким калием отмечались в работе Н. И. Леоненок [1955] и других публикациях. Раннедевонский-раннеэмский возраст чанчарского комплекса обоснован конодонтовой фауной [Иванов, Пучков, 1991; Маслов и др., 1993; Артюшкова, 2014].

Информация по химическому составу вулканогенных пород чанчарского вулканического комплекса содержится в работах В. Г. Кориневского [1971], Б. П. Золотарева с соавторами [1975], В. С. Бочкарёва, Р. Г. Язевой [2000], П. В. Федорова с соавторами [2017]. В нижней части разреза преобладают трахибазальты с сопутствующими трахиандезитами, латитами, трахитами, риолитами, в верхней части основной объем принадлежит эффузивным биотит-пироксеновым базальтоидам — чанчаритам (по В. Г. Кориневскому). По материалам В. В. Бочкарёва и Р. Г. Язевой [2000], вулканиты чанчарского комплекса относятся к субщелочной и щелочной низкотитанистым петрохимическим сериям, родственным абсарокит-шошонит-латит-трахитовой серии. По рекам Тарангул, Чанчар, Домбар разрез наращивается с юга на север. В нижней его части преобладают трахибазальты, шошониты, которые перекрываются тефритами. В верхней части разреза преобладают чанчариты. В. В. Бочкарёвым и Р. Г. Язевой [2000] сделан вывод о повышении основности вулканитов вверх по разрезу от шошонитов до абсарокитов и тефритов. В очаге магм реализуется схема кристаллизационной дифференциации и извержения в раннюю фазу магм верхней части питающего магматического очага (шошониты, абсарокиты), а в позднюю фазу — нижней части магматического очага, представленной тефритами. Химический состав абсарокитов (в мас. %) по [Бочкарёв, Язевой, 2000]: SiO_2–47.9–51.97; TiO_2–0.6–1.05; Na_2O — 2.27–5.49; K_2O 1.44–6.75; микроэлементы в г/т: Rb — 21–146; Sr — 155–1709; Cr — 50–126; Ni — 48–49; Co — 18–40; Zr — 45–72; V — 120–251; Y — 19–23; Nb — 19–23. В поздних чанчаритах (в мас. %): SiO_2–52.19–57.56; TiO_2–0.9–1.16; MgO — 1.68–5.96; Na_2O — 2.33–4.36; K_2O — 7.15–9.31; Rb — 162–200; Sr — 312–865; Cr — 30–105; Ni — 13–35; Co — 6–26; Zr. Показательны высокие концентрации K_2O, Sr, Rb, низкие — Cr, Ni, Co, умеренные — MgO, умеренно-низкие MgO. Необходимо отметить также, присутствие вместе с шошонитами — чанчаритами щелочных фонолитов, тефритов и редких лампрофиров.

Выше чанчарского комплекса в Сакмарской зоне залегают толщи утягуловской (D_2e-ef_1), ишмуратовской (D_2e-ef_1), сарбайской (D_2zv-D_3f_1), егиндинской (D_3f_2-D_3fm_1) и зилаирской (D_3fm) свит. Вулканогенные свиты несут черты редуцированности и континентальности (D_2ef_2). Для Ишмуратовской свиты показателем «континентальности» являются повышенные концентрации TiO_2 (1.7–2.3 мас. %) и пониженные MgO (среднее 3.85 мас. %) в базальтах, свидетельствующие о траппоидном уклоне и повышенной мощности земной коры в Сакмарской зоне.

Подводя итог рассмотрению геологического разреза Сакмарской зоны можно сделать ряд выводов: 1 — формационный и возрастной ряд, установленный в Сакмарской зоне включает стадию континентального рифтогенеза (Є) с траппоидным базальтовым вулканизмом, с редкими интрузиями плюмовых сиенитов и с осадочными породами тереклинской свиты, характерными для грабеновых фаций; 2 — ордовикские вулканические и осадочные комплексы показательны для океанических рифтогенных зон, выделяются большими объемами вулканитов, осадочных пород (кураганская свита) и кремнистых пород (баулуская свита); 3 — карамолинский вулканический комплекс (S_1ln), сопоставимый с дергаишской свитой В. Т. Тищенко [Маслов и др., 1993], содержащий эффузивные высокотитанистые базальты, протрузии серпентинитов, кремнистые и кремнисто-обломочные (фтанитовые) породы, фиксирующие стадию заложения зоны субдукции; 4 — блявинский вулканический комплекс — островодужный, низкотитанистых базальтов, андезибазальтов, андезитов, риодацитов полифациальных (S?); 5 — акчуринская толща кремнисто-обломочных пород (D_1lh_2 — D_1e_1); 6 — чанчарский комплекс субщелочных высококалиевых трахибазальтов, латитов, трахитов, чанчаритов (D_1e_1).

Следует обратить внимание на то, что чанчарский комплекс сложен высококалиевыми вулканитами, включая трахибазальты, которые выплавляются на глубинах сопоставимых по P-T условиям с областью эклогит-глаукофанового метаморифзма [Добрецов, 1974, Авдейко и др., 2006]

Дальнейшее погружение зоны субдукции в область эклогитизации привело к возрастанию веса субдукционной плиты и образованию излома плиты, что обосновано в работе Г. П. Авдейко с соавторами [2006], на основе анализа и интерпретации палеовулканологических материалов по Курило-Камчатской островной дуге. В результате этого процесса начинается выплавление высоко-

калиевых магм шошонитовой серии чанчарского комплекса, завершающих кембрийско-раннеэмский цикл вулканизма.

Продолжительность этого тектоно-магматического цикла составляла около 90 млн лет. На островодужный период приходится около 33 млн лет (433–400 млн лет).

Максютовский метаморфический комплекс мегантиклинория Уралтау и оруденение Юлукской группы медносульфидных месторождений

По современным данным максютовский метаморфический комплекс является составной частью палеозойской зоны субдукции [Chemenda et al., 1997, Пучков, 2010, Голинко и др., 2021]. Этот фрагмент разреза антиклинория Уралтау был погружен в зону субдукции, а затем эксгумирован.

По результатам геолого-съемочных работ [Криницкий, Криницкая, 1961] в разрезе максютовского метаморфического комплекса (снизу — вверх) располагаются свиты: галеевская, кайраклинская, юмагузинская и карамалинская. По составу и преобладанию в геологических разрезах карамалинской и кайраклинской свит парасланцев и ортосланцев [Алексеев, 1976] ряд исследователей считают их идентичными и высказываются за отнесение их к одной свите. Многочисленные определения радиологического возраста хлорит-мусковит-альбитовых и мусковит-кварц-альбитовых с хлоритом сланцев калий-аргоновым методом, дали возрастной интервал 305–420 млн лет [Алексеев, 1976]. Изучение детритовых цирконов из кварцитовых толщ максютовского комплекса позволило установить их палеозойский возраст. Возраст пикового эклогит-глаукофансланцевого метаморфизма в Магнитогорской зоне субдукции оценивается значениями 411–384 млн. лет [Голионко и др., 2021]. По современным данным [Мавринская, Якупов, 2013] максютовский комплекс имеет аккреци-

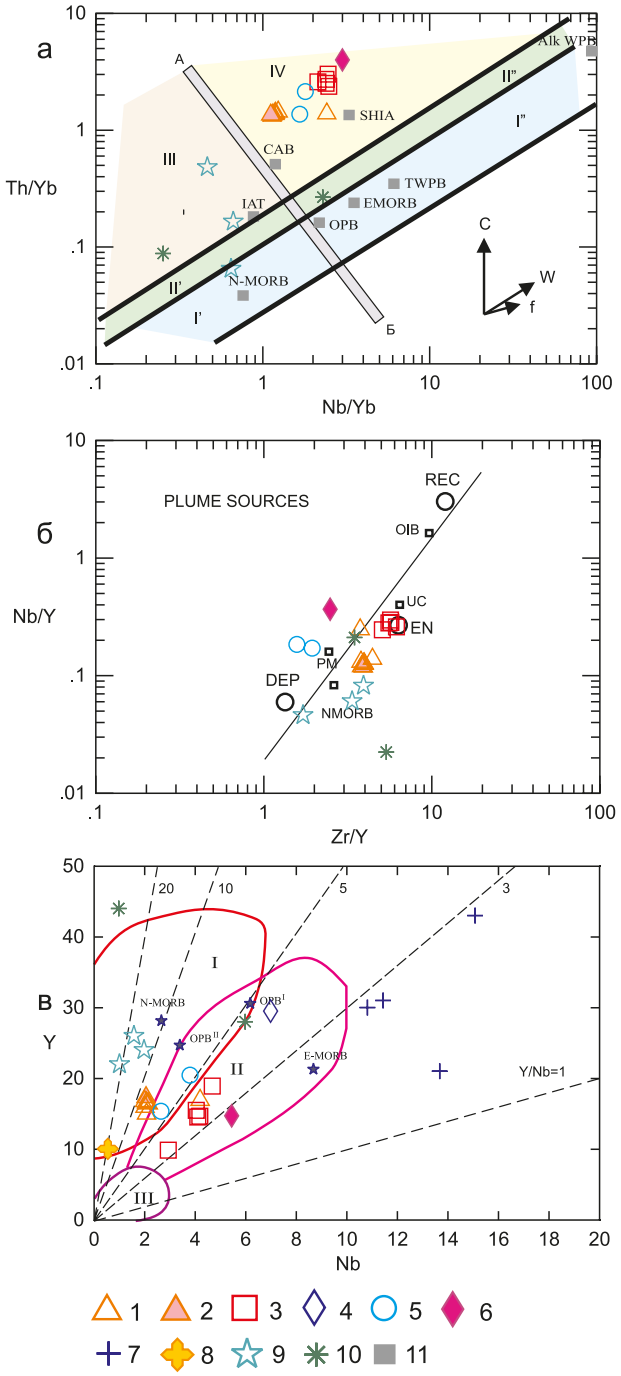


Рис. 4. Соотношения Nb/Yb — Th/Yb (а) [Pearce, 2008], Zr/Y — Nb/Y (б) [Fitton et al., 1997], Nb — Y (в) [Холоднов и др., 2021] в породах чанчарского, мостостроевского и джаилганского комплексов

Условные обозначения: 1–6 — чанчарский комплекс [Федоров и др., 2017]: 1 — чанчариты, 2 — стекло, 3 — трахибазальты, 4 — трахит, 5 — эссекситы, 6 — сиенит; 7 — трахиты мостостроевского комплекса [Косарев, 2007]; 8 — латит эффузивный из олистолита района д. Байгускарово, мостостроевский комплекс; 9 — домбаровский комплекс; 10 — джаилганский комплекс. Стандартные составы базальтов различных геодинамических обстановок см. рис. 2.

Fig. 4. Nb/Yb — Th/Yb (a) [Pearce, 2008], Zr/Y — Nb/Y (б) [Fitton et al., 1997], Nb — Y (в) [Kholodnov et al., 2021] ratios for rocks of the Chanchar, Mostostroevsky and Dzhailgan complexes

Legends: 1–6 — Chanchar complex [Fedorov et al., 2017]: 1 — chancharites, 2 — glass, 3 — trachybasalts, 4 — trachyte, 5 — essexites, 6 — syenite; 7 — trachytes of the Mostostroevsky complex [Kosarev, 2007]; 8 — effusive latite from olistolite of the Baiguskarovo village area, Mostostroevsky complex; 9 — Dombarovsky complex; 10 — Dzhailgan complex.
Standard compositions of basalts from different geodynamic settings see Fig. 2.

онно-меланжевый характер и состоит из блоков разновозрастных пород, в которых участвуют докембрийские и девонские отложения.

Мелкие по запасам руд медносульфидные колчеданные месторождения (Гумеровское, Южно-Юлукское и Северо-Юлукское) и рудопроявления Юлукского рудного района, изучены и охарактеризованы А. А. Алексеевым с соавторами [Алексеев, 1976; Прокин и др., 1985]. Пластовая форма рудных залежей, пирит-пирротиновый, сфалерит-халькопиритовый состав руд позволяет предполагать эксгаляционно-осадочный генезис руд.

По результатам изучения изотопного состава свинца в рудах Южно-Юлукского месторождения А. П. Виноградовым с соавторами [1960] сделан вывод о палеозойском (послеордовикском) возрасте оруденения, что в общем виде подтверждается и результатами изучения детритовых цирконов максютовского комплекса [Голионко и др., 2021]. Тип колчеданного оруденения Южно-Юлукского и других месторождений этой группы относится к одному из подтипов уральских колчеданных месторождений (Zn > Cu). Эти сведения, более подробно изложенные в ряде предшествующих работ [Зайков и др., 2001, 2009; Прокин, 1977; Серавкин, 1986; Серавкин и др., 1992; Кропачев и др., 1968; Косарев и др., 2023], позволяют сопоставлять месторождения Юлукской группы с колчеданными месторождениями Блявинского рудного района.

Западно-Магнитогорская структурно-формационная зона

Западно-Магнитогорская мегазона включает комплексы, залегающие восточнее Главного Уральского надвига, расположенного по границе Уралтауского комплекса с Вознесенско-Присакмарской зоной.

Зона Главного Уральского разлома (ГУР, Вознесенско-Присакмарская зона). Вознесенско-Присакмарская структурная зона отождествляется с зоной ГУР. В связи с высокой насыщенностью серпентинизированными ультрабазитами классифицируется также «зоной серпентинитового меланжа». Большой вклад в изучении зоны ГУР внесли А. В. Пейве с соавторами в «Объяснительной записке к тектонической карте Урала М 1:1000000» [Пейве и др., 1977]. При всей сложности геологического строения этой зоны, связанной, прежде всего с напряженными разрывной и пликативной тектоникой, в последнее десятилетие произошло некоторое «прояснение» ее геологического строения. В значительной мере это связано с проведением детальных работ, включая структурные и металлогенические исследования [Зайков и др., 2001, 2009; Мелекесцева, 2007; Серавкин, Знаменский, Косарев, 2001; Серавкин и др., 2003; Косарев и др., 2003; Знаменский и др., 2019; Знаменский, 2021; Масленников, 1999; Масленников и др., 2019; Jonas, 2004; Nimis at al., 2010] и обобщение опубликованных и фондовых материалов по Сакмарской и Вознесенско-Присакмарской зонам. Особенности геологического строения Вознесенско-Присакмарской зоны сводятся к следующему.

Главный Уральский разлом служит границей палеоконтинентального сектора, в который включается и Сакмарская зона с офиолитовым комплексом O — S — D_3, серпентинитовые протрузии которого прорывают весь палеозойский разрез, вместе с отложениями зилаирской свиты (D_3fm). В период становления карамолинской и баулуской свит, сложенными океаническими базальтами, земная кора в этих структурах имела океанические характеристики.

На границе между Сакмарской структурной зоной и Магнитогорской палеостроводужной структурной мегазоной, располагается Уралтауский антиклинорий, сложенный метаморфическими комплексами высокобарического низкотемпературного (Максютовским) и низкобарического низкотемпературного (Суванякским) фациальных типов. Уралтауский антиклинорий с запада и с востока окружен фрагментами палеозойских палеовулканических поясов рифтогенного и надсубдукционного типов. В этих поясах предполагаются области «уноса» в зону субдукции и области эксгумации серпентинизированных ультрабазитов и фрагментов толщ, подверженных высокобарическому метаморфизму. В связи с этим предполагается, что вся Уралтауская зона вместе с обрамляющими ее серпентинитами, является фрагментом «зоны субдукции палеозойского времени».

Заложение зоны субдукции фиксировалось многочисленными протрузиями серпентинизированных ультрабазитов, известных в составе карамолинской (S_1ln) толщи высокотитанистых океанических базальтов. Сама зона Главного Уральского надвига трассируется, почти непрерывно, телами серпентинитов. В северной части зоны ГУР на Нуралинском участке в разрезе офиолитового комплекса заметный объем занимают лерцолиты, а в более южных районах (Байгускарово, область

широтного течения р. Урал, Кемпирсай), большой объем в составе ультрабазитовых комплексов принадлежит гарцбургитам.

В рамках Вознесенско-Присакмарской зоны установлена стратификация толщ, часть которых изменчива по простиранию, другие толщи выдержаны по составу и по положению в разрезе, что более детально рассмотрено ниже.

Наиболее древний вулканический (океанический) комплекс, поляковский имеет на Южном Урале преимущественно ареніг-среднеордовикский возраст по конодонтовой фауне [Иванов и др., 1989; Борисенок и др., 1998; Маслов, Артюшкова, 2000]. В районе д. Байгускарово фрагмент аналогичной толщи мощностью 600 м датируется по конодонтам как лландейло-карадок [Артюшкова, Маслов, 1999]. Среднеордовикские конодонты были собраны в актюбинской (верхней) толще поляковского комплекса.

Известняки, залегающие южнее д. Вознесенка, на горе Шахттау, на левом берегу реки Кизникеевки, по данным геосъемки И. С. Анисимова и определениям конодонтов В. Н. Барышева [Маслов, Артюшкова, 2000] имеют раннедевонский возраст.

Базальты поляковской свиты [Семёнов, 2000; Косарев, 2015] сопоставимы с E-MORB типом океанических базальтов, относятся к умеренно-щелочной и толеитовой сериям, близки к базальтам Императорского хребта и океанической траповой формации [Курносов, 1986]. В южной части Вознесенско-Присакмарской зоны в районах дд. Байгускарово, Мазово, Белошапка фрагменты базальтовых разрезов, датированные ордовиком [Маслов, Артюшкова, 2010] и ранним силуром [Маслов и др., 1993] в составе дергаишской и сакмарской свит [Зайков и др., 2001], присутствуют как высокотитанистые, так и умереннотитанистые базальты. На спайдердиаграммах [Косарев, 2015] видно некоторое обогащение базальтов южного сектора элементами КИР и присутствие слабой положительной аномалии Sr. В этих базальтах установлена нормальная и повышенная суммарная щелочность [Косарев, 2015], что характерно и для базальтов поляковской свиты северной части Вознесенско-Присакмарской зоны.

Толща эдафогенных серпентинитовых брекчий (D_1e_1) является рудовмещающей для колчеданных Co — Cu-колчеданных месторождений Ивановского типа, которые прослежены от Ишкининского рудного поля в Гайском рудном районе, до Кизникеевского рудного поля, расположенного на южной окраине д. Вознесенки, что составляет около 400 км. Количество Co — Cu-колчеданных месторождений достигает здесь почти 30 [Бучковский, 1960].

Толща эдафогенных брекчий на колчеданных месторождениях содержит залежи обломочных колчеданных руд. На Ивановском рудном поле [Зайков и др., 2009] габброиды и пироксениты, расположенные на границах пластин превращены в хлоритовые и тальк-хлоритовые метасоматиты. Наиболее крупные рудные тела залегают на границе серпентинитов и базальтов баймак-бурибаевского комплекса. Мощность тел серпентинитов достигает 400 м. Присутствие обломочных сульфидных руд вместе с обломочными серпентинитами свидетельствуют об их совместном формировании в зонах выходов рудоносных гидротерм и курильщиков, а затем об их разрушении и образовании линз обломочных серпентинитов и руд [Зайков и др., 2009].

Разрез Дергамышского месторождения по обобщенным данным [Зайков и др., 2009] состоит из 5 толщ (пластин).

Первая пластина, подстилающая рудоносные серпентиниты, имеет пестрый состав (фтаниты, яшмы, базальты, андезиты, риолиты, офикальцитовые брекчии), содержит обломки углеродистых сланцев, содержащих силурийские граптолиты.

Вторая пластина сложена брекчированными серпентинитами. В кровле пластины залегает линзообразное рудное тело с массивными и обломочными рудами. В нижней части пластины выявлены прослои серпентинитовых песчаников и гравелитов.

Третья «надрудная» пластина сложена брекчированными серпентинитами с линзами тальк-карбонатных пород, блоков габброидов и диабазов.

Четвартая пластина сложена вулканомиктовыми отложениями с прослоями алевролитов и песчаников с плитчатыми телами серпентинитов. Разрез имеет сходство с отложениями сакмарской свиты.

Пятая пластина сложена андезитами и андезибазальтами. На Ивановском рудном поле к этому уровню приурочены потоки пиллоу-базальтов, аналогичных слагающим баймак-бурибаевскую свиту [Nimis at al., 2010; Косарев и др., 2022]. В пятой пластине содержатся линзы серноколчеданных руд второго стратиграфического уровня оруденения. Аналоги пятой пластины присутствуют на Чингизовском, Абзаковском, Вознесенском (гора Озерная) и Шариповском участках.

Пластины 1–4 входят в состав толщи эдафогенных серпентинитовых брекчий.

Пятая толща, сложенная вулканитами основного и среднего состава, имеет региональное распространение.

Итак, заложение зоны ГУР, скорее всего, началось с формирования «излома» субдукционной плиты и заложения сначала зоны растяжения, в которую проникали серпентинитовые протрузии, а затем сдвиговой глубинной зоны на висячем крыле зоны субдукции. Последующие тектонические, магматические и метаморфические процессы вуалировали и изменяли эту зону, вплоть до коллизионной стадии, которая фиксируется надвигами, интрузиями и сдвигами молодого поколения (рис. 5).

Второй цикл охватывает временной интервал поздний эмс — ранний эйфель, вмещающий разрезы фронтальной, развитой и тыловой островных дуг [Косарев и др., 2022], соответствующие рудовмещающим толщам Co — Cu-колчеданных месторождений ивановского типа, залегающих в эдафогенных брекчиях серпентинизированных ультрабазитов и перекрывающих их толеитовых базальтах и бонинито-базальтах бурибайского комплекса (D_1e_2br), датированных по конодонтам [Маслов, Артюшкова, 2010]. Самое нижнее положение в Вознесенско-Присакмарской зоне занимает трахит — латит — трахибазальтовый мостостроевский комплекс (D_1e_1) формационный и возрастной аналог чанчарского комплекса Сакмарской зоны. Бурибайский комплекс (D_1e_2) вмещающий Бурибайское и Юбилейное месторождения входит

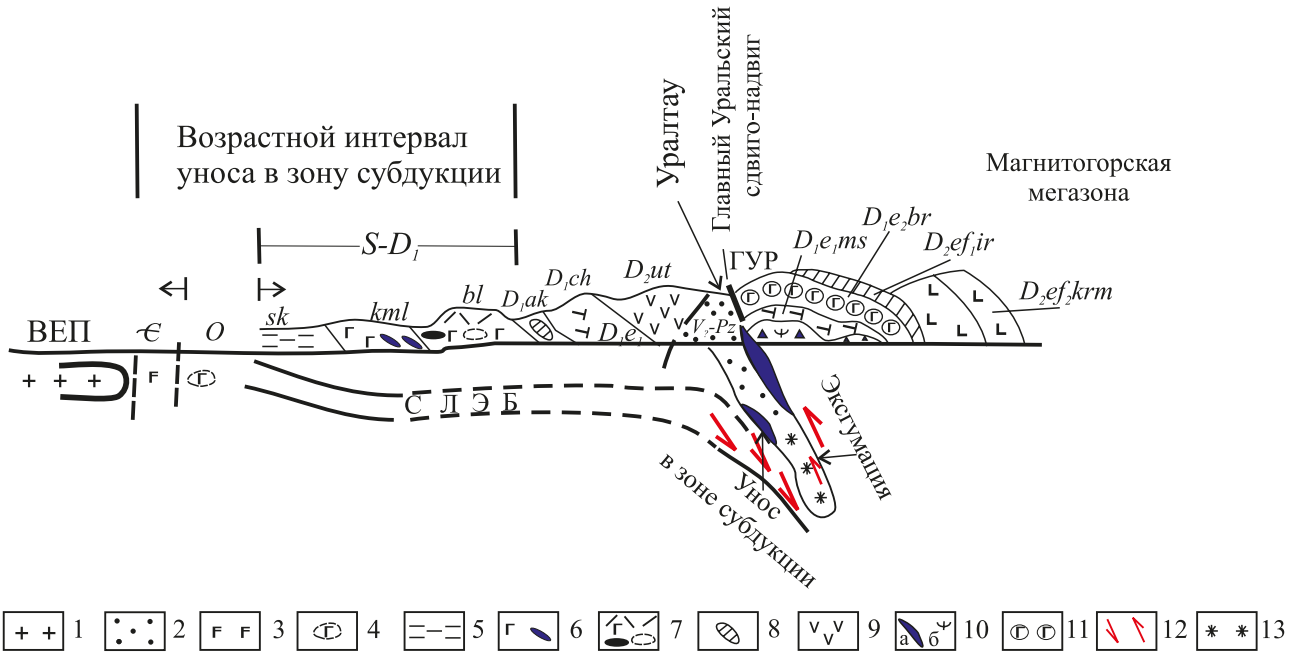


Рис. 5. Геоднамическая модель ранне-среднепалеозойского вулканизма в Сакмарской, Уралтауской и Вознесенско-Присакмарской (ГУР) зонах. Составлен с использованием материалов [Chemenda et al., 1997; Пучков, 2000, 2010; Ковалев и др., 2011; Косарев и др., 2023]

Условные обозначения: 1 — Восточно-Европейская плита (ВЕП), 2 — терригенно-метаморфические породы уралтауского комплекса (V), 3 — базальты траппоидные медногорской свиты (Є), 4 — пиллоу-базальты баулусского комплекса и его аналогов (O), 5–7 — отложения S-D_1: 5 — углисто-глинистые кремнистые сланцы (преобладающие) сакмарской свиты (S-D_1 sk), 6 — пиллоу-базальты с протрузиями ультрабазитов карамолинской свиты (S-D_1 kml), 7 — базальт-риодацитовая с телами колчеданных руд, блявинская свита (S-D_1 bl), 8 — кремнисто-обломочная акчуринская свита (D_1 ak), 9 — базальт-андезит-дацитовая утягуловская свита (D_2ef ut), 10 — тела протрузивных ультрабазитов, 11 — базальты, бониниты, риодациты бурибайского комплекса (D_1e_2br), 12 — направления перемещения вещества в зоне субдукции, 13 — эклогитизированные породы уралтауского комплекса.

Fig. 5. Geodynamic model of Early-Middle Paleozoic volcanism in the Sakmara, Uraltau and Voznesensk-Prisakmar (MUF) zones. Compiled using materials [Chemenda et al., 1997; Puchkov, 2000, 2010; Kovalev et al., 2011; Kosarev et al., 2023]

Legend: 1 — East European Plate (ВЕП), 2 — terrigenous-metamorphic rocks of the Uraltau Complex (V), 3 — trappoid basalts of the Mednogorsk Formation (Є), 4 — pillow basalts of the Baulus complex and its analogues (O), 5–7 — deposits S-D_1: 5 — carbonaceous-clayey siliceous shales (dominant) of the Sakmara Formation (S-D_1), 6 — pillow basalts with protrusions of ultrabasites of the Karamolinsk Formation, 7 — basalt-rhyodacite with bodies of sulfide ores, Blavinskaya Formation, 8 — siliceous-clastic Akchura Formation (D_1), 9 — basalt-andesite-dacite Utyagulovka Formation (D_2ef), 10 — bodies of protrusive ultrabasites, 11 — basalts, boninites, rhyodacites of the Buribay Complex (D_1e_2br), 12 — directions of movement of matter in the subduction zone, 13 — eclogitized rocks of the Uraltau Complex.

в состав фронтальной островной дуги и имеет состав толеитовых базальтов и бонинитовых базальтов — бонинитов — риодацитов. Колчеданные руды Бурибайского и Юбилейного месторождений относятся к уральскому типу (Cu > Zn).

В Вознесенско-Присакмарской зоне выделены следующие толщи: 1 — толща океанических базальтов, соответствующая поляковской и баулуской свитам (O_2); 2 — толща глыбовых брекчий и блоковых кремнисто-базальтовых фрагментов, с обломочным материалом углисто-глинистых, кремнистых (фтанитов) пород с граптолитами силурийского возраста, соответствующая сакмарской свите; 3 — в Оренбургской части зоны ГУР В. Т. Тищенко выделена базальтовая дергаишская свита с граптолитами (S_1) [Маслов и др., 1993]; 4 — толща, вмещающая оруденение Co — Cu-колчеданное (ивановского) типа в эдафогенных брекчях серпентинитов [Масленников, 1999; Зайков и др., 2009; Серавкин и др., 2003; Косарев и др., 2018]. Толща прослежена от Ишкининского рудного поля до Кизникеевского рудного поля около 400 км; 5 — локально развитая толща завершает (?) разрез Вознесенско-Присакмарской зоны, в нее входят кремнисто-обломочные породы, фрагменты слоев и линз габбро-диорит обломочного состава, линзы обломочных известняков, интрузивные тела габбро, диоритов, кварцевых диоритов с оруденением медно- и золото-порфирового типа с возрастом 412 млн лет на Вознесенском рудном поле [Грабежев, Ронкин, 2011; Ронкин и др., 2013]; 418 млн лет, 396 млн лет [Косарев и др., 2014]; Re — Os (Ma) — 396±6, 394±6 [Плотинская, 2023] соответствующий D_1e_2. В эту сопокупность входят и фрагменты разреза с геологическим возрастом D_1e_2, соответствующим верхней (рудоносной) части разреза баймак-бурибаевской свиты на Салаватском рудном поле.

Бурибайский вулканический комплекс на востоке Западно-Магнитогорской зоны (ЗМЗ) перекрывается верхнетаналыкским базальт-андезит-риолитовым комплексом магнезиальной известково-щелочной серии. К этому комплексу относятся толщи, вмещающие Маканское и Октябрьское месторождения (Cu > Zn), а также мощные рудоносные толщи Гайского рудного поля (Cu > Zn) и Баймакского рудного района, вмещающие многочисленные мелкие колчеданные месторождения с Au — Ba-полиметаллическим уклоном.

Выше верхнетаналыкского комплекса залегают толщи ирендыкской свиты ($D_2ef_1ir_{1-6}$). Эти толщи, объединенные в южно-ирендыкский комплекс, включают островодужные базальты, андезибазальты, андезиты, кварцевые андезиты, дациты, риодациты и слагают развитую островную дугу. Преобладают породы переходной от известково-щелочной к толеитовой серии. Надрудные пиллоу-базальты третьей толщи ирендыкской свиты Подольского рудного поля принадлежат к островодужной толеитовой серии. Руды крупного Подольского месторождения уральского типа образуют колчеданную залежь, расположенную в апикальной зоне экструзивного купола (ir_1).

Вулканогенный разрез южно-ирендыской подзоны завершается кислой трахидацитовой (ir_5) толщей, которая перекрывается гадилевской толщей (ir_6) олистостромового типа и кремнистыми породами — яшмоидами ярлыкаповского горизонта (D_2ef_2). Толща трахидацитов существенно туфо-агломератовая с примесью эффузивов на Сукраковском участке, вмещает среднее по запасам металлов Восточно-Подольское колчеданное золото-барит-полиметаллическое месторождение. Трахидациты по геохимическим характеристикам отнесены к известково-щелочной калиево-натриевой серии, переходной к шошонитовой серии.

В Восточно-Магнитогорской зоне на том же стратиграфическом уровне (D_2ef_1) залегает джусинский базальт-андезит-дацит-риолитовый вулканический комплекс обладающий чертами переходности между известково-щелочной и шошонитовой сериями [Косарев, Артюшкова, 2007; Косарев и др., 2017, 2021].

Однотипные сериальная принадлежность, петро-геохимические характеристики вулканических пород, близкий тип колчеданного оруденения и один возрастной интервал колчеданоносных комплексов, дают основание сделать вывод о сопоставимости Восточно-Подольской и Джусинской рудно-магматических систем. Этот вывод позволяет реконструировать тыловую островодужную зону, охватывавшую части Западно-Магнитогорской и Восточно-Магнитогорской подзон. Тыловая островная дуга (D_2ef_1) характеризовалась широким распространением вулканитов шошонитовой и переходной от известково-щелочной к шошонитовой серии. Этот тип вулканизма характерен для стадии максимального погружения слэба (глубина 70–100 км), выплавления умереннощелочных базальтовых магм с повышенными концентрациями K_2O при невысоких степенях плавления мантийного субстрата [Авдейко и др., 2006; Косарев и др., 2021]. Для шошонитового типа вулканизма характерно сочетание с колчеданным оруденением барит-полиметаллического типа.

Третий цикл включает внутридуговый колчеданоносный карамалыташский комплекс (D_2ef_2) и улутауский островодужный комплекс (D_2zv-D_3f_1). Карамалыташская свита (комплекс) традиционно делится на 2 толщи. Нижняя толща пиллоу-базальтовая (мощностью до 1000 м). Верхняя толща дацит-риолитовая с прослоями базальтов и яшм мощностью до 800 м [Маслов, Артюшкова, 2010]. В Александринском и Верхнеуральском рудных районах рудовмещающими являются третья и четвертая толщи карамалыташской свиты и нижняя толща, нередко сложенная известняками, улутауской свиты (D_2zv).

Карамалыташский внутридуговой спрединг на своем начальном этапе фиксируется расщеплением ирендыкско-джусинской раннеэйфельской островной дуги, формированием «слэбвиндоу» и внедрении в него вещества, продуцировавшего вулканиты гавайитовой высоко-умереннотитанистой серии, представленной большекумакским, шуулдакским, юлдашевским и савельевско-калиновским безрудными комплексами. Возобновление субдукции привело к формированию потока флюидов, обогащенных водой и началу функционирования надсубдукционного мантийного диапира, продуцирующего низкотитанистые колчеданоносные комплексы. Подъем диапира, содержащего водные флюиды, сопровождался андерплейтингом базальтовых магм и повышением в зоне Мохо — нижняя кора температуры и, в результате, к выплавлению кислых магм [Фролова, Бурикова, 1977; Ходоревская, 2017], экстракции рудных компонентов. Обогащение Cu и Zn флюидной фазы, содержащей высокие концентрации H_2O, Cl, S, отражено в составах флюидных включений из кислых пород Узельгинского колчеданного месторождения Верхнеуральского рудного района [Викентьев и др., 2012].

Широкое распространение в безрудных зонах карамалыташского комплекса базальтов субокеанического и океанического типов с повышенным TiO_2 (0.7–2 мас. %) свидетельствует, скорее всего, об океаническом типе палеокоры в осевой зоне карамалыташского спредингового бассейна. Предполагаются низкие степени плавления мантийного субстрата под безрудными зонами, по сравнению с рудоносными.

По особенностям химизма базальты карамалыташской свиты Сибайского рудного района принадлежат к толеитовой серии островных дуг, для которой характерны низкие концентрации TiO_2 (0.4–0.8 мас. %), MgO, Cr, Ni, Sr, Zr. В рудоносных зонах присутствуют большие объемы кремнекислых пород по соотношениям изотопов $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0.70397–0.70472) [Бобохов и др., 1989] не выходящих за пределы мантийных составов. Эти данные позволяют говорить о генетической связи между химизмом базальтов, объемами кислых пород и рудоносностью вулканических сооружений. По химизму вулканитов и составу руд близко к Сибайскому месторождению стоит Учалинское колчеданное месторождение.

Вулканиты Александринского палеовулканического комплекса — возрастные аналоги карамалыташской свиты Сибайского рудного района. Александринское колчеданное месторождение обладает полиметаллическим уклоном, по сравнению с Сибайским месторождением. В составе рудоносного комплекса, вместе с толеитовыми базальтами, присутствуют субщелочные разновидности основных пород. Кислые породы александринского комплекса, по сравнению с Сибайской зоной обнаруживают повышенные концентрации Zr, Th, РЗЭ.

По наличию полиметаллического уклона в составе руд к Александринскому месторождению близки колчеданные руды месторождений Верхнеуральского рудного района. Геологический разрез верхнеуральского колчеданоносного комплекса соответствует третьей и четвертой толщам карамалыташской свиты и нижней толще улутауской свиты (D_2zv ul_1). Карамалыташская свита на рассматриваемой площади сложена вулканитами базальт-андезит-дацит-риолитового состава, среди которых Т. Н. Сурин [1993] выделяет толеитовую и известково-щелочную петрохимические серии.

В Александринском и Верхнеуральском рудных районах, по сравнению с Западно-Магнитогорской зоной меняется тренд миграции рудоносных зон во времени, с запад-восток в Бурибайском и Баймакском рудных районах, на юго-восток-северо-запад в Александринском и Верхнеуральском рудных районах. По мнению В. Н. Пучкова [Косарев и др., 2006], это связано с тем, что в девонской субдукции на Южном Урале участвует кора относительно древнего возраста и соответственно более тяжелая, по сравнению с современными и молодыми Западно-Тихоокеанскими островными дугами. Древняя кора, имея большой удельный вес, быстрее тонет в мантии и, кроме того часто вызывает откат шарнира (перегиба) литосферы во фронте зоны субдукции [Molnar, Atwater, 1978].

Четвертый цикл охватывает временной интервал верхнедевонско-франско-фаменский — раннекаменноугольный (D_3f-fm-C_1t_1). Наиболее полно он проявился в Восточно-Магнитогорской зоне. Формации верхнедевонско-каменноугольного времени изучены

на восточном крыле Магнитогорской мегазоны и переходят в область Восточно-Уральского поднятия. По геологическим материалам [Мосейчук, Сурин, 1998] на Аблязовской площади в основании разреза залегают живет-нижнефранские туфы, терригенно-тефроидные породы, верхнефранские базальты пироксен-плагиоклазовые, известняки; верхний фран — фамен: туфы трахибазальтов; фамен-турне (саратюбинская толща): ксенотуфы смешанного состава пикритов, пикробазальтов, базальтов, известняки; каменноугольные субвулканические тела субщелочных базальтоидов, андезитов; известняки, туффиты, туфы субщелочных базальтов верхнего турне.

Среди фаменских вулканитов широко распространены эффузивные умереннощелочные базальты, шошониты, абсарокиты и латиты шошонитовой серии. В вулканитах шошонитовой серии установлены повышенные концентрации Rb, Cs, Ba, U, Th, Sr и Pb [Язева, Бочкарев, 1998].

Обсуждение результатов

Геологический разрез Вознесенско-Присакмарской зоны (ГУР) содержит толщи, которые можно интерпретировать в совокупности в качестве неполного «эмбрионального» островодужного цикла, в котором присутствует «инициальная» часть — 1) эдафогенные брекчии серпентинитов; 2) рудовмещающий и рудный фрагмент разреза — те же брекчии с рудными колчеданными залежами в верхней части эдафогенных серпентинитовых брекчий; 3) брекчии габбро-диорит обломочного состава — комагматы вулканогенной (ишкининской толщи) [Jonas, 2004; Косарев и др., 2022]; 4) толща осадочных полимиктовых песчаников и гравелитов (основание разреза горы Див); 5) толща кремнисто-обломочных пород; 5) вулканогенная эффузивная бонинито-базальтов, бонинитов и кислых пород [Jonas, 2004; Зайков и др., 2001, 2009]; 6 — локально, на участках Кутуевском и Большой Каран, Вознесенском и Карагайкульском присутствует интрузивный комплекс габбро-диорит-гранодиорит-гранит-порфирового состава с абсолютным возрастом 394–412–418 млн лет [Грабежев, Ронкин, 2011; Косарев и др., 2014]. По геологическим данным близкий к Вознесенскому месторождению возраст имеет и Салаватское медно-порфировое месторождение, приуроченное к экструзивно-интрузивному комплексу, завершающему баймак-бурибаевскую вулканическую формацию.

В южной части Вознесенско-Присакмарской зоны в Гайском рудном районе Оренбургской области В. Т. Тищенко [Тищенко, 1971, Маслов и др., 1993] выделен мостостроевский комплекс (D_1e_1) одновозрастный и идентичный по сериальному составу чанчарскому комплексу Сакмарской зоны.

В геологическом разрезе у д. Репино (20 км к югу от города Гая), на левом берегу р. Елшанки разрез мостостроевского комплекса вскрыт горными выработками. В основании толщи мостостроевского комплекса залегают обломочные, слоеватые серпентиниты. По мнению В. Т. Тищенко [1971], этот контакт в большинстве случаев стратиграфический. В кремнистых породах мостостроевского комплекса собраны конодонты характерные для зоны *gronbergi*, что соответствует раннему эмсу [Маслов и др., 1993]. Выше по разрезу залегают брекчии подушечных базальтов и вариолитов бурибайского комплекса (D_1e_2). Фрагменты разреза мостостроевского комплекса обнаружены на западной окраине г. Орска, по обеим берегам р. Урал. Олистолиты подушечных латитов, трахитов и щелочных базальтов мостостроевского комплкса встречены в районе д. Байгускарово, на восточном берегу р. Дергамыш [Косарев, 2007] и в 4 км южнее д. Поляковка на западном берегу р. Краснохта [Фролова, Островская, 1969]. Эти данные указывают на деструктивные тектонические процессы в зоне ГУР в конце раннего эмса [Косарев и др., 2003], после формирования эффузивных толщ мостостроевского комплекса.

Баймак-бурибаевская толща является аналогом бурибайского колчеданоносного комплекса, получившего развитие в западном крыле Таналыкского поднятия, и наиболее детально изученного в Акъяр — Бурибайской подзоне на рудных полях Бурибайском, Юбилейном, в разрезе у д. Хворостянка по р. Таналык [Серавкин, 1986; Сопко и др., 1983; Серавкини др., 1992, 2001; Зайков и др., 2001; Spadea et al., 2002; Косарев и др., 2005]. Баймак-бурибаевскую толщу зоны ГУР с бурибайским комплексом Акъяр-Бурибайской подзоны, сближает один возраст (D_1e_2) и присутствие бонинитов [Кабанова, Зайков, 1987; Spadea et al., 2002; Косарев и др., 2001, 2005, 2018]. Нижняя толща эдафогенных серпентинитовых брекчий с оруденением ивановского типа (и без него) в Акъяр-Бурибайской подзоне нигде не вскрыта из-за больших (недоступных) глубин. Следует вывод, что стратиграфический уровень колчеданного оруденения ивановского типа ниже, чем на Юбилейном и Бурибайском колчеданных месторождениях, но сопоставим с уровнем

серно-колчеданной минерализации, проявленной в надрудных пиллоу-базальтах Ивановского месторождения.

Наиболее ранние вулканические и интрузивные комплексы, наращивающие (вниз) Вознесенско-Присакмарскую зону известны на Нуралинской, Миндякской, Хабарнинской, Кемпирсайской и других площадях, изученных разными исследователями.

На Нуралинском участке разрез (снизу — вверх) состоит из следующих пород: 1 — гарцбургиты, шпинелевые и плагиоклазовые лерцолиты; 2 — нижняя часть разреза перекрыта расслоенной дунит-верлит-клинопироксеновой (ДВК) залежью (мощностью до 400 м); 3 — расслоенная габбро-диоритовая интрузия. В верхней (восточной) части ДВК залежи отмечаются тела роговообманковых габбро, возрастом 400 млн лет [Ферштатер и др., 2000].

Формирование Кемпирсайско-Хабарнинского аллохтона происходило в два этапа: 1 — становление океанического (?) комплекса, состоящего из тектонитов дунит (лерцолит) — гарцбургитового состава и сопровождающих их диабазовых даек, и пиллоу-лав с N-MORB геохимией; 2 — обдукционного по Г. Б. Ферштатеру [2013] Восточно-Хабарнинского расслоенного массива (дунит-клинопироксенит-вебстерит-габбро-норитового состава).

Цикличность вулканизма обусловлена его тесной связью с зоной субдукции [Косарев и др., 2014, 2022] и режимом погружения слэба в эту зону, представляющую собой P — T-градиентную систему [Абрамович, Клушин, 1987; Абрамович, 1998; Косарев и др., 2014, 2022].

Стадии, циклы и этапы тектоно-магматической, вулканической и металлогенической деятельности в палеозое Южного Урала в Сакмарской зоне:

I. Стадия континентального рифтогенеза (Є);

II. Стадия океанического рифтогенеза (O_{1-3} — S_1ln_1); продолжение океанической стадии (S_1ln), заложение зоны субдукции восточного падения;

III. Островодужная стадия начавшаяся с субдукции S_1ln проходила в Сакмарской зоне в S_2-D_1e_1; формирование силурийско-раннедевонского цикла (S_2? — D_1e_1) начавшееся со становления блявинского комплекса (S-D_1), завершилось в раннем эмсе образованием чанчарского вулканического (вулкано-интрузивного) комплекса на глубине 70 км и более, где возникли высокобарические глаукофан-эклогитовые, а на меньших глубинах зеленые сланцы [Добрецов, 1974; Ленных, 1977; Алексеев, 1976; Пучков, 2000, 2010; Ковалев и др., 2011; Ernst et al., 2006; Косарев и др., 2023].

Завершение силурийско-раннедевонского островодужного цикла в Сакмарской зоне ознаменовано образованием чанчарского (D_1e_1) комплекса вулканитов низкотитанистой шошонитовой и щелочной высококалиевых серий. Одновременно в Вознесенско-Присакмарской зоне возник формационно близкий к чанчарскому и синхронный ему, мостостроевский вулканический комплекс [Тищенко, 1971; Маслов и др., 1993; Косарев, 2007]. В позднеэмское — раннеэйфельское время в Сакмарской зоне происходит образование утягуловской свиты (D_1e_2 — D_2ef_1) известково-щелочной серии. В Вознесенско-Присакмарской зоне в позднеэмское время формируется баймак-бурибаевская толща [Зайков и др., 2001] толеитовой и бонинитовой серии. Следует отметить, что объемы блявинской и утягуловской свит в Сакмарской зоне, дискуссионы [Серавкин и др., 1992; Маслов и др., 1993] до настоящего времени.

На глубинах кровли субдукционной плиты 30–60 км идет активная дегидратация амфибола в базальтах и перидотитах, а также клинохлора и мусковита и формирование субдукционных флюидов, мигрирующих в мантийный клин, что ведет к началу магмообразования и формированию толеитовых и бонинитовых островодужных серий и ассоциирующихся с ними колчеданных залежей с Cu > Zn. Достижение слэбом глубин около 70–120 км ведет [Hetzel, 1999; Ковалев и др., 2011; Косарев и др., 2022] к дегидратации на большей глубине серпентина [Авдейко и др., 2006; Honda, Uyeda, 1983], изменению состава субдукционных флюидов, частичной эклогитизации, возрастанию удельного веса субдукционной плиты, формированию излома субдукционной плиты и заложению сдвиговой зоны. Миграция флюидов в мантийный клин ведет к формированию очагов магмообразования и извержениям низкотитанистых субщелочных и щелочных вулканических серий в тыловой вулканической зоне.

Заключение

В Сакмарской зоне Южного Урала проведены комплексные исследования раннепалеозойских толщ, уточнен объем колчеданоносной блявинской свиты, сделан вывод об активном проявлении сдвиговой тектоники и главенстве процесса субдукции, проведены геодинамические реконструкции. Выделена островодужная стадия (блявинская S_2 — D_1? и чанчарская D_1e_1 свиты) в период

которой сформировалась зона «уноса» на западе и зона «эксгумации» на востоке, в Вознесенско-Присакмарской зоне.

Элементы цикличности, охарактеризованные в Сакмарской структурной зоне в первом цикле, присутствуют и во втором, третьем и четвертом циклах в Магнитогорской мегазоне [Косарев и др., 2022]. В начальные этапы циклов характерно проявление базальтового вулканизма океанического, субокеанического, островодужного и внутриплитного типов, что увязывается с формированием «слэбвиндоу» (мантийных окон).

В средние этапы распространены вулканические комплексы известково-щелочной, иногда в сочетании с толеитовой серией.

Завершающий этап вулканизма крупных циклов характеризуется присутствием кислых, а иногда и основных, и средних умереннощелочных вулканитов шошонитовой серии, примером которых может служить чанчарский вулканический комплкс шошонитовой и фонолитовой серий. Кислые породы, завершающие перечисленные циклы относятся к маловодному типу, исходные магмы которых формировались при низких степенях плавления мантийного субстрата.

Список литературы

Абрамович И. И. Геодинамика и мантийные корни рудных формаций. М.: МПР, ВСЕГЕИ, Геокарт, МАНПО, 1998. 140 с.

Абрамович И. И., Клушин И. Г. Геодинамика и металлогения складчатых областей. Л.: Недра, 1978. 375 с.

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.

Артюшкова О. В. Девонские конодонты из вулканогенно-кремнистых отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: ДизайнПресс, 2014. 152 с.

Артюшкова О. В., Маслов В. А. Палеонтологическое обоснование стратиграфического расчленения дофаменских вулканогенных комплексов Верхнеуральского и Магнитогорского районов. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1998. 156 с.

Бельков Ю. П. Палеовулканизм рудного поля Комсомольского месторождения и колчеданное рудообразование // Вулканические образования Урала. Свердловск, 1978. С. 122–127.

Бобохов А. С., Горожанин В. М., Кузьмин С. А. Стронциево-изотопные данные для кислых вулканитов Магнитогорского мегасинклинория Южного Урала. Препринт доклада Президиуму БНЦ УрО АН СССР. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. 24 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.

Борисенок В. И., Курковская Л. А., Рязанцев А. В. Ордовикские конодонты в кремнисто-базальтовом комплексе Южного Урала (результаты научно-исследовательских работ на Уральском учебном полигоне) // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1998. № 3. С. 52–55.

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

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

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

Бучковский Э. С. Основные черты сульфидной рудоносности ультраосновных массивов восточного склона Южного Урала // Материалы по геологии и полезным ископаемым Южного Урала. Вып. 2. М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 94–105.

Викентьев И. В., Борисова А. Ю., Карпухина В. С., В. Б. Наумов, И. Д. Рябчиков. Прямые данные о рудоносности кислых магм Узельгинского рудного поля (Южный Урал, Россия) // Докл. РАН. 2012. Т. 443. № 3. С. 347–351.

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

Влодавец В. И. Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 340 с.

Волкова Н. И., Френкель А. Э., Буданов В. И., Холодова Л. Д., Лепезин Г. Г. Эклогиты максютовского комплекса (Южный Урал): геохимические особенности и природа протолита // Геохимия. 2001. № 10. С. 1027–1038.

Голионко Б. Г., Рязанцев А. В., Каныгина Н. А. Строение и геодинамическая эволюция максютовского метаморфического комплекса (Южный Урал) по данным структурного анализа и результатам U-Pb датирования зерен обломочного циркона // Геотектоника. 2021. № 6. С. 21–49

Грабежев А. И., Ронкин Ю. Л. U — Pb Возраст цирконов из рудоносных гранитоидов медно-порфировых месторождений южного Урала // Литосфера. 2011. № 3. С. 104–116.

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 эклогит-глаукофансланцевые комплексы СССР. Новосибирск: Наука, Сибирское Отделение, 1974. 436 с.

Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А. Г. Глубинная геодинамика. Новосибирск: СО РАН, 1994. 229 с.

Дриль С. И., Елизарова М. В. Геохимическая типизация и источники вещества метабазитов офиолитов западного сектора Монголо-Охотского складчатого пояса // Вулканизм и геодинамика: мат-лы II Всерос. симпоз.

по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 367–370.

Дьюи Дж., Берд Дж. Горные пояса и новая глобальная тектоника // Новая глобальная тектоника (тектоника плит). М.: Изд-во Мир, 1974. С. 191–219.

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.И., 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 комплекса зоны Урал-Тау. Докл. Президиуму УНЦ РАН. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1994. 28 с.

Знаменский С.Е. Петролого-геохимические характеристики пород Вознесенского интрузивного массива (Южный Урал): к вопросу о составе и источниках магм, продуцирующих золото- и медно-порфировое оруденение // Литосфера. 2021. Т. 21. №3. С. 365–385. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-3-365-385

Знаменский С.Е., Косарев А.М., Шафигуллина Г.Т. Фациальный состав, геохимические особенности и геодинамические обстановки образования позднеэмских островодужных комплексов зоны Главного Уральского разлома на Южном Урале // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. №1. С. 1–16. DOI: 10.17072/psu. geol. 18.1.1

Золотарев Б.П., Ильинская М.Н., Кориневский В.Г. Состав и геохимические особенности калиевой щелочной разновидности трахиандезито-базальтов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1975. №1. С. 136–149.

Иванов К.С. Основные черты геологической истории (1.6–0.2 млрд лет) и строение Урала / Дисс. д-ра геол.-мин. наук в форме научного доклада. Екатеринбург: ИГиГ УНЦ РАН, 1998. 252 с.

Иванов К.С., Пучков В.Н. Стратиграфия девонских отложений Сакмарской зоны Урала и Мугоджар // Труды Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого. 1991. Вып. №138. С. 103–105.

Иванов К.С., Пучков В.Н., Наседкина В.А., Пелевин И.А. Первые результаты ревизии стратиграфии поляковской свиты по конодонтам // Ежегодник-88 Свердловск: ИГиГ УрО РАН, 1989. С. 12–13.

Иванов С.Н. Пучков В.Н., Иванов К.С., Самаркин Г.И., Семенов И.В., Пумпянский А.И., Дымкин А.М., Полтавец Ю.А., Русин А.И., Краснобаев А.А. Формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1986. 248 с.

История развития Уральского палеоокеана. Отв. редакторы *Л.П. Зоненшайн, В.В. Матвеенков.* М.: Ин-т океанологии АН СССР, 1984. 162 с.

Кабанова Л.Я., Зайков В.В. Пикриты и марианит-бониниты палеоостроводужной системы Южного Урала // Типы магматизма Урала. Свердловск: УрО АН СССС, 1987. С. 108–110.

Каракулина Г.В., Никитин И.И. Медногорский рудный район // Медноколчеданные месторождения Урала. Геологические условия размещения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 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.

Кориневский В.Г. Калиевые щелочные базальтоиды эйфеля Сакмарской зоны Мугоджар // Ежегодник-70. Свердловск: ИГиГ УНЦ АН СССР, 1971. С. 16–19.

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. Силуро-девонский вулканизм Бурибай-Маканского рудного района (Южный Урал) / Автореф. дис…. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1977. 30 с.

Косарев А.М. Кольцевые структуры Южного Урала: закономерности размещения и значение для прогнозно-металлогенических построений // Металлогения Уралo-Монгольского складчатого пояса. Тезисы сообщений. Алма-Ата: Наука, 1983. С. 47–48.

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

Косарев А.М., Артюшкова О.В. Джусинский палеовулканический комплекс: стратиграфическое положение, геохимические особенности, геодинамические реконструкции // Геологический сборник. Информационные материалы. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2007. №6. С. 174–180.

Косарев А.М., Голованова И.В., Шафигуллина Г.Т. Особенности распределения оксида калия, урана и тория в вулканитах Южного Урала в связи с проблемой генезиса минимума теплового потока // Литосфера. 2009. №6. С. 17–32.

Косарев А.М., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Шафигуллина Г.Т. Геология, геодинамика и структурные особенности северной части Сакмарской зоны (Южный Урал) // Геологический вестник. 2024. №2. С. 90–116. DOI: 10.31084/2619–0087/2024-2-8

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

Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. Петролого-геохимические особенности среднедевонско-раннекаменноугольных островодужных и коллизионных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. 2006. №1. С. 3–21.

Косарев А. М., Пучков В. Н., Серавкин И. Б. Шафигуллина Г. Т. Геодинамические условия вулканизма и колчеданообразования в Магнитогорской мегазоне в позднеэмсско-раннеэйфельское время // Литосфера. 2021. №6. С. 775–804. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-6-775-804

Косарев А. М., Пучков В. Н., Серавкин И. Б., Шафигуллина Г. Т. Колчеданоносные вулканические комплексы Магнитогорской палеоостроводужной мегазоны на Южном Урале: модели рудно-магматических систем, геодинамические реконструкции // Петрология. 2022. Т. 30. №1. С. 91–118. DOI: 10.31857/S0869590322010058

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. №2. С. 246–279. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-246-279

Косарев А. М., Серавкин И. Б. Колчеданоносные островные дуги Южного Урала и модель малоглубинных плюмов // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. Тезисы докладов I Всероссийского металлогенического совещания. Екатеринбург, 1994. С. 197–98.

Косарев А. М., Серавкин И. Б., Холоднов В. В. Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности Магнитогорской колчеданоносной мегазоны на Южном Урале // Литосфера. 2014. №2. С. 3–25.

Косарев А. М., Серавкин И. Б., Шафигуллина Г. Т. Субщелочной и известково-щелочной вулканизм раннеэйфельского возраста и связанное с ним полиметаллическое оруденение в Магнитогорской мегазоне Южного Урала // Литосфера. 2017. №3. С. 29–58.

Косарев А. М., Сопко Л. Н. Строение и условия формирования дацит-липаритовой толщи ирендыкской свиты в Макан-Бурибайском районе на Южном Урале // *Тектоника и магматизм Южного Урала*. М.: Наука, 1974. С. 220–232.

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

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

Криницкий Д. Д., Криницкая В. М. Стратиграфия метаморфических толщ района среднего течения р. Сакмары // Ученые записки Саратовского государственного университета. 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.: Изд-во МГУ, 1968. С. 97–150.

Курносов В. В. Гидротермальные изменения базальтов в Тихом океане и металлоносные отложения. М.: Наука, 1986. 252 с.

Кусков В. Н. Химический состав вулканогенных пород Ивдельского колчеданоносного поля // Химизм колчеданоносных вулканогенных формация. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. С. 25–33.

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

Леоненок Н. И. Силурийские отложения Кос-Истекского района (Северные Мугоджары). // Тр. Лаб. геологии угля АН СССР. 1955. Вып. 3. С. 116–225.

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

Мавриснкая Т. М., Якупов Р. З. Биостратиграфическая характеристика суванякского и максютовского комплексов Уралтау // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и спределльных территорий. 2016. С. 53–55.

Масленников В. В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. 347 с.

Масленников В. В., Масленникова С. П., Леин А. Ю. Минералогия и геохимия древних и современных черных курильщиков. М.: РАН, 2019. 832 с.

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

Маслов В. А., Артюшкова О. В. Стратиграфия палеозойских образований Учалинского района Башкирии. Уфа: ИГ УфНЦ РАН, 2000. 140 с.

Маслов В. А., Артюшкова О. В., Барышев В. Н. Стратиграфия девонских отложений Магнитогорского мегасинклинория // Советская геология. 1987. №9. С. 61–71.

Маслов В. А., Черкасов В. Л., Тищенко В. Т., Смирнова И. А., Артюшкова О. В., Павлов В. В. Стратиграфия и корреляция среднепалеозойских вулканогенных комплексов основных медноколчеданных районов Южного Урала. Уфа: УНЦ РАН, 1993. 217 с.

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

Мосейчук В. М., Сурин Т. Н. Фамен-турнейская базальт-пикритовая (сара-тюбинская) толща Восточно-Магнитогорской зоны Южного Урала: геология, геохимия, минералогия и петрогенезис. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1998. 112 с.

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

Пейве А. В., Иванов С. Н., Нечеухин В. М., Перфильев А. С., Пучков В. Н. Тектоника Урала: Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1:1 000 000. М.: Наука, 1977. 120 с.

Петров Г. А. Геохимические особенности вулканитов северной части Тагильской структуры как отражение эволюции палеозоны субдукции // Литосфера. 2022. №6. С. 709–740. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-6-709-740

Плотинская О. Ю. Порфирово-эпитермальные системы Урала: источники вещества, эволюция и зональность / Автореферат дис. на соискание ученой степени доктора геол.-минер. наук. М.: ИГЕМ РАН, 2023. 39 с.

Прокин В. А. Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале. М.: Недра, 1977. 174 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., Иванов К. С. К стратиграфии ранне-среднедевонских отложений Сакмарской зоны // Ежегодник-1982 ИГиГ УНЦ АН СССР. Свердловск, 1983. С. 6–8.

Рингвуд А. Е. Состав и петрология мантии Земли. М., Недра, 1981. 584 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. Том 1: Южный Урал. М.: Наука, 2005. С. 84–134.

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

Серавкин И. Б. Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. М.: Наука, 1986. 268 с.

Серавкин И. Б., Знаменский С. Е., Косарев А. М. Главный Уральский разлом на Южном Урале: структура и основные этапы формирования // Геотектоника. 2003. №3. С. 42–64.

Серавкин И. Б., Знаменский С. Е., Косарев А. М. Разрывная тектоника и рудоносность Башкирского Зауралья. Уфа: Полиграфкомбинат, 2001. 318 с.

Серавкин И. Б., Знаменский С. Е., Косарев А. М., Рыкус М. В., Салихов Д. Н., Сначев В. И., Мосейчук В. М. Вулканогенная металлогения Южного Урала. М.: Наука, 1994. 160 с.

Серавкин И. Б., Косарев А. М. Модели колчеданоносной рудно-магматической системы и колчеданного месторождения Уральского типа // Смирновский сборник-2001. М.: Фонд им. Акад. В. И. Смирнова РАЕН, 2001. С. 118–151.

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 геосинклиналей. Уфа: БФАН СССР, 1986. С. 82–92.

Сопко П. Ф., Серавкин И. Б., Бобохов А. С., Косарев А. М. Среднепалеозойский вулканизм Башкирского Зауралья и связь с ним колчеданного оруденения. Уфа: БФАН СССР, 1983. 116 с.

Сурин Т. Н. Петрология и геохимия вулканитов раннеживетской базальт-риолитовой колчеданоносной формации // Препринт доклада Президиуму УНЦ РАН. Уфа, 1993. 44 с.

Тищенко В. Т. Щелочно-базальтоидная формация нижнего девона в южной части западного крыла Магнитогорского прогиба // Тезисы докл. к I симпозиуму по вулканизму Южного Урала. Миасс: УНЦ РАН, 1971. С. 43–44.

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

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

Ферштатер Г. Б., Котов А. Б., Пушкарев Е. В., Сальникова Е. Б., Ковач В. П., Яковлева С. З., Бережная Н. Г. U — Pb возраст циркона из диорита Нуралинского лерцолит-габбрового массива // Докл. РАН. 2000. Т. 371. №1. С. 96–100.

Фролова Т. И., Бурикова И. А. Геосинклинальный вулканизм (на примере восточного склона Южного Урала). М.: МГУ, 1977. 266 с.

Фролова Т. И., Островская Е. В. О находке щелочных вулканогенных пород на восточном склоне Южного Урала // Магматические формации, метаморфизм, металлогения Урала. Труды II Уральского петрографического совещ. Т. III. Базальтоидный магматизм и его металлогения. Свердловск: АН СССР, 1969. С. 254–257.

Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 2005. 560 с.

Хворова И. В. Кремниевые брекчии в палеозое Южного Урала // Известия АН СССР. Сер. геол. 1974. №8. С. 68–74.

Хворова И. В., Ильинская М. Н. Сравнительная характеристика двух вулканогенно-осадочных формаций Южного Урала. М.: Наука, 1963. 86 с.

Ходоревская Л. И. Влияние флюидного режима на плавление пород океанической коры (экспериментальные данные) при 900–1000 °С, 5–10 кбар. Граниты и эволюция Земли: мантия и кора в гранитообразовании // Материалы III международной геологической конференции. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. С. 328–329.

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 коллизионного орогена // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12. №2. С. 225–245. DOI: 10.5800/GT-2021-12-2-0522

Чибрикова Е. В., Олли В. А. Экзотические блоки пород в разрезах палеозоя Южного Урала и Северного Кавказа. Ежегодник-1997. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1999. С. 21–25.

Штейнберг Д. С. Геологическая история Урала и петрология // Магматизм, метаморфизм и рудообразованиев геологической истории Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1974. С. 39–58.

Язева Р. Г., Бочкарев В. В. Геология и геодинамика Южного Урала (опыт геодинамического картирования). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 203 с.

Яковлев Г. Ф., Гончарова Т. Я. Тектоника, магматизм и колчеданные месторождения Блявинского района (Южный Урал) // М.: Труды ЦНИГРИ, 1965. Вып. 69. С. 44–66.

Bailey J. C., Frolova T. I., Burikova I. A. Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of Kurile island-are basalts // Contrib. Mineral. Petrol. 1989. V. 102. P. 265–280.

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

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

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. 1997. V. 153. P. 197–208. https://doi.org/10.1016/S0012-821X (97) 00170–2

Hetzel R. Geology and geodynamic evolution of the high-P/low-T Maksyutov Complex, Southern Urals, Russia // Geol. Rundsch. 1999. V. 87. P. 577–588.

Honda S., Uyeda S. Thermal process in subduction zones — a review and preliminary approach on the origin of arc volcanism // Arc volcanism: physics and tectonics. Tokio: TERRAPUB, 1983. P. 117–140.

Jonas P. Tectonostratigraphy of oceanic crustal terrains hosting serpentinite — associated massive sulfide deposits in the Main Uralian Fault Zone (South Urals) // Geowissenschaften, 2004. C 498. Freiberg. 123 p.

Molnar P., Atwater T. Interarc spreading and Cordilleran tectonics as alternates related to the age of subducted oceanic lithosphere // Earth Planet. Sci. Lett. 1978. V. 41. P. 330–340.

Nimis P., Omenetto P., Buschmann B., Jonas P., Simonov V. A. Geochemistry of igneous rocks associated with ultramafic — mafic-hosted Cu (Co, Ni, Au) VMS deposits from the Main Uralian Fault (Southern Urals, Russia) // Contrib. Mineral. and Petrol. 2010. V. 100. № 3–4. P. 201–214. DOI: 10.1007/s00710-010-0134-6

Pearce J. A. Geohemical fingerprinting of oceanic basalts applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust // Lithos. 2008. V. 100. P. 14–48.

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. V. 132. P. 101–134.

Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts. Implications for mantle composition and process // Geological Society of Lonndon, Special Publication. 1989. V. 42. P. 313–345. DOI:10.1144/GSL. SP. 1989.042.01.19

Wilson J. T. A new class of faults and their bearing on continental drift // Nature. 1965. V. 207. Issue 4995. P. 343–347.

References

Abramovich I. I. (1998) *Geodinamika i mantiinye korni rud-nykh formatsii* [Geodynamic and mantle roots of the ore formations]. Moscow, MPR, VSEGEI, Geokart, MANPO, 140 p. (In Russian).

Abramovich I. I., Klushin I. G. (1978) *Geodinamika i metallogeniya skladchatykh oblastei* [Geodynamics and metallogeny of folded regions]. Leningrad, Nedra Publ., 375 p. (In Russian).

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. DOI: 10.1134/S0869591106030027 (In Russian).

Alekseev A. A. (1976) *Magmaticheskie kompleksy zony khrebta Ural-Tau* [Igneous complexes of the Ural-Tau ridge zone]. Moscow, Nauka Publ. 170 p. (In Russian).

Artyushkova O. V. (2014) *Devonskie konodonty iz vulkanogenno-kremnistyh otlozhenii Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* [Devonian conodonts from volcanogenic-siliceous deposits of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals]. Ufa, Dizain Press Publ., 152 p. (In Russian).

Artyushkova O. V., Maslov V. A. (1999) *Paleontologicheskoe obosnovanie stratigraficheskogo raschleneniya dofamenskikh vulkanogennykh kompleksov Verkhneural'skogo i Magnitogorskogo raionov* [Paleontological justification of stratigraphic dissection of Prefranian volcanic complexes of the Verkhneuralsk and Magnitogorsk districts]. Ufa, IG USC RAN, 156 p. (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 formations formations of the Urals]. Sverdlovsk, UNTS AN SSSR, 121–127. (In Russian).

Bobokhov A. S., Gorozhanin V. M., Kuz'min S. A. (1989) *Strontsiyevo-izotopnyye dannyye dlya kislykh vulkanitov Magnitogorskogo megasinklinoriya Yuzhnogo Urala* [Strontium isotope data for acid volcanics of the Magnitogorsk megasynclinorium of the Southern Urals]. Preprint doklada Prezidiumu BNTS UrO AN SSSR. Ufa, BNTS UrO AN SSSR, 24 p. (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. Moscow, Nauka Publ., 606 p. (In Russian).

Borisenok V. I., Kurkovskaya L. A., Ryazantsev A. V. (1998) *Ordovikskie konodonty v kremnisto-bazal'tovom komplekse Yuzhnogo Urala (rezul'taty nauchno-issledovatel'skikh rabot na Ural'skom uchebnom poligone)* [Ordovician conodonts in the siliceous-basaltic complex of the Southern Urals (results of research work at the Ural training ground)]. Vestn. MGU. Ser. geol., (3), 52–55. (In Russian).

Borisenok D. V., Ryazantsev A. V. (2005) *Vulkanogennye kompleksy 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. 1. Yuzhnyi Ural* [Essays on Regional Tectonics. Volume 1. South Urals]. Moscow, Nauka Publ., 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]. *Doklady AN SSSR*. **150** (5), 1107–1108. (In Russian).

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

Buchkovskii E. S. (1960) *Osnovnye cherty sul'fidnoi rudonosnosti ul'traosnovnykh massivov vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala* [Principal Features of the Sulfide Ore Potential of Ultramafic Masifs on the Eastern Slope of the Southern Urals]. *Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Yuzhnogo Urala* [Materials on geology and mineral resources of the Southern Urals]. Vyp. 2. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 94–105 p. (In Russian).

Vikent'yev I. V., Borisova A. Yu., Karpukhina V. S., Naumov V. B., Ryabchikov I. D. (2012) Pryamyye dannyye o rudonosnosti kislykh magm Uzel'ginskogo rudnogo polya (Yuzhnyy Ural, Rossiya) [Direct data on the ore content of acid magmas of the Uzelginsky ore field (Southern Urals, Russia)]. *Doklady Earth Sciences*, **443** (3), 347–351. (In Russian).

Vinogradov A. P., Tarasov L. S., Zykov S. I. (1960) Izotopnyi sostav svintsov kolchedannykh mestorozhdenii Urala [Isotopic composition of leads from ore pyrite deposits of the Urals]. *Geochemistry*, (6), 475–489. (In Russian).

Vlodavets V. I. (1984) *Spravochnik po vulkanologii* [Handbook of volcanology]. Moscow, Nauka Publ., 340 p. (In Russian).

Volkova N. I., Frenkel' A. E., Budanov V. I., Kholodova L. D., Lepezin G. G. Eklogity maksyutovskogo kompleksa (Yuzhnyi Ural): geokhimicheskie osobennosti i priroda protolita [Eclogites of the Maksyutovo complex (Southern Urals): geochemical features and nature of the protolith]. *Geochemistry*. (10), 1027–1038. (In Russian).

Golionko B. G., Ryazantsev A. V., Kanygina N. A. (2021) Stroenie i geodinamicheskaya evolyutsiya maksyutovskogo metamorficheskogo kompleksa (Yuzhnyi Ural) po dannym strukturnogo analiza i rezul'tatam U-Pb datirovaniya zeren oblomochnogo tsirkona [Structure and Geodynamic evolution of the Maksyutov metamorphic complex (South Urals): Strucural analysis an of U-Pb dating of detrital zircon]. *Geotectonics*. (6), 21–49. (In Russian).

Grabezhev A. I., Ronkin Yu. L. (2011) U — Pb vozrast tsirkonov iz rudonosnykh granitoidov medno-porfirovykh mestorozhdenii Yuzhnogo Urala [U — Pb age of zircons from ore-bearing granitoids of copper-porphyry deposits in the Southern Urals]. *Lithosphere*, (3), 104–116 (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 Ura*la [Trace elements in igneous, metamorphic and ore formations of the Urals]. Ufa, BNTS UrO AN SSSR, 116–121. (In Russian).

Dobretsov N. L. (1974) Glaukofanslantsevyye i eklogit-glaukofanslantsevyye kompleksy SSSR [Glaucophane schist and eclogite-glaucophane schist complexes of the USSR]. Novosibirsk, Nauka Publ., Sibirsk. Otdel., 436 p. (In Russian).

Dobretsov N. L., Kirdyashkin A. G. (1994) *Glubinnaya geodinamika* [Deep-level geodynamics]. Novosibirsk, SO RAN, 229 p. (In Russian).

Dril' S. I., Elizarova M. V. (2003) Geokhimicheskaya tipizatsiya i istochniki veshchestva metabazitov ofiolitov zapadnogo sektora Mongolo-Okhotskogo skladchatogo poyasa [Geochemical typification and sources of matter of metabasites of ophiolites of the western sector of the Mongol-Okhotsk folded belt]. *Vulkanizm i geodinamika: mat-ly II Vseros. simpoz. po vulkanologii i paleovulkanologii* [Volcanism and Geodynamics: Proc. of the II All-Russian Symposium on Volcanology and Paleovolcanology]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 367–370 p. (In Russian).

D'yui Dzh., Berd Dzh. (1974) Gornye poyasa i novaya global'naya tektonika [Mountain belts and new global tectonics]. *Novaya global'naya tektonika (tektonika plit* [New global tectonics (plate tectonics)]. Sbornik statei. Moscow, Izd-vo Mir, 191–219 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 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 orudenenie 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).

Zakharov O. A., Mavrinskaya T. M. (1994) *Novye paleontologicheskie dannye o vozraste substrata metamorfitov Uraltau* [New paleontological data on the age of the metamorphic substrate Uraltau]. Ezhegodnik-93. Ufa, IG UNTS RAN, 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, 28 p. (In Russian).

Znamensky S. E. (2021) Petrologo-geokhimicheskie kharakteristiki porod Voznesenskogo intruzivnogo massiva (Yuzhnyi Ural): k voprosu o sostave i istochnikakh magm, produtsiruyushchikh zoloto- i medno-porfirovoe orudenenie [Petrological and geochemical characteristic of the rocks of the Voznesensky intrusive massif (Southern Urals): On the question of the composition and sources of magma producing gold and copper porphyry mineralization]. *Lithosphere*. **21** (3), 365–385. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-3-365-385 (In Russian).

Znamenskii S. E., Kosarev A. M., SHafigullina G. T. (2019) Fatsial'nyi sostav, geokhimicheskie osobennosti i geodinamicheskie obstanovki obrazovaniya pozdneemskikh ostrovoduzhnykh kompleksov zony Glavnogo Ural'skogo razloma na Yuzhnom Urale [Facial composition, geochemical features and geodynamic settings of the formation of late Ems island-arc complexes of the Main Ural Fault zone in the Southern Urals]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, **18** (1), 1–16. (In Russian).

Zolotarev B. P., Il'inskaya M. N., Korinevskii V. G. (1975) Sostav i geokhimicheskie osobennosti kalievoi shchelochnoi raznovidnosti trakhiandezito-bazal'tov [Composition and geochemical features of the potassic alkaline variety of trachyandesite-basalts]. *Izvestiya AN SSSR, Seriya. geologiya*, (1), 136–149. (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, IGiG UNTS RAN, 252 p. (In Russian).

Ivanov K. S., Puchkov V. N. (1991) *Stratigrafiya devonskih otlozhenii Sakmarskoi zony Urala i Mugodzhar* [Stratigraphy of Devonian deposits of the Sakmara zone of the Urals and Mugodzhar]. Sverdlovsk, IGiG UNTS RAN, 103–105. (In Russian).

Ivanov K. S., Puchkov V. N., Nasedkina V. A., Pelevin I. A. (1989) *Pervye rezul'taty revizii stratigrafii polyakovskoi svity po konodontam* [First results of the revision of the stratigraphy of the Polyakov suite based on conodonts]. Ezhegodnik-88. Sverdlovsk, IGiG UrO RAN, 12–13 p. (In Russian).

Ivanov S. N. Puchkov V. N., Ivanov K. S., Samarkin G. I., Semenov I. V., Pumpyanskii A. I., Dymkin A. M., Poltavets Yu. A., Rusin A. I., Krasnobaev A. A. (1986) *Formirovanie zemnoi kory Urala* [Formation of the earth's crust of the Urals]. Moscow, Nauka, 248 p. (In Russian).

History of the development of the Ural paleoocean (1984) (Otv. red. L. P. Zonenshain, V. V. Matveenkov). Moscow, In-t okeanologii AN SSSR, 164 p. (In Russian).

Kabanova L. Ya., Zaikov V. V. (1987) *Pikrity i marianit-boninity paleoostrovoduzhnoy sistemy Yuzhnogo Urala* [Picrites and marianite-boninites of the paleoisland-arc system of the Southern Urals]. Tipy magmatizma Urala. Sverdlovsk, UrO AN SSSS, 108–110. (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, UNTS AN SSSR, 134–140. (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*. Ufa, DizainPoligrafServis, (9), 173–185. (In Russian).

Korinevskii V. G. (1971) *Kalievye shchelochnye bazal'toidy eifelya Sakmarskoi zony Mugodzhar* [Potassium alkaline basaltoids of the Eifelian Sakmara zone Mugodzhar]. Ezhegodnik-1970. Sverdlovsk, Instituta geologii i geokhimii UNTS AN SSSR, 16–19. (In Russian).

Kosarev A. M., Sopko L. N. (1974) *Stroenie i usloviya formirovaniya datsit-liparitovoi tolshchi irendykskoi svity v Makan-Buribaiskom raione na Yuzhnom Urale* [Structure and conditions of formation of the dacite-liparite strata of the Irendyk suite in the Makan-Buribai region in the Southern Urals]. Tektonika i magmatizm Yuzhnogo Urala. Moscow, Nauka Publ., 220–232. (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 volcanics of the Sakmara and Voznesensko-Prisakmarskaya zones in the Southern Urals]. *Lithosphere*. (2), 40–64. (In Russian).

Kosarev A. M. (1977) *Siluro-devonskii vulkanizm Buribai-Makanskogo rudnogo raiona Yuzkhnyi Ural* [Silurian-Devonian volcanism of the Buribay-Makan ore district of the Southern Urals]: Avtoref. dis. … kand. geol.-min. nauk. Moscow, MGU, 30 p (In Russian).

Kosarev A. M. (1983) *Kol'tsevye struktury Yuzhnogo Urala: zakonomernosti razmeshcheniya i znachenie dlya prognozno-metallogenicheskikh postroenii* [Ring structures of the Southern Urals: patterns of placement and significance for forecast-metallogenic constructions] *Metallogeniya Uralo-Mongol'skogo skladchatogo poyasa* [Metallogeny of the Ural-Mongolian folded belt]. Tez. soobshchenii. Alma-Ata, Nauka Publ., 47–48. (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 time in the Southern Urals: geochemical features and geodynamic reconstructions]. *Lithosphere*, (6), 54–70. (In Russian).

Kosarev A. M., Artyushkova O. V. (2007) Dzhusinskiy paleovulkanicheskiy kompleks: stratigraficheskoye polozheniye, geokhimicheskiye osobennosti, geodinamicheskiye rekonstruktsii [Dzhusinsky paleovolcanic complex: stratigraphic position, geochemical features, geodynamic reconstructions]. *Geologicheskii sbornik. Informatsionnyye materialy*. Ufa, IG USC RAN, (6), 174–180. (In Russian).

Kosarev A. M., Golovanova I. V., SHafigullina G. T. (2009) Osobennosti raspredeleniya oksida kaliya, urana i toriya v vulkanitakh Yuzhnogo Urala v svyazi s problemoi genezisa minimuma teplovogo potoka [Features of the distribution of potassium, uranium and thorium oxide in volcanics of the Southern Urals in connection with the problem of the genesis of the minimum heat flow]. *Lithosphere*, (6), 17–32. (In Russian).

Kosarev A. M., Gorozhanin V. M., Gorozhanina E. N., SHafigullina G. T. (2024) Geologiya, geodinamika i strukturnye osobennosti severnoi chasti Sakmarskoi zony (Yuzhnyi Ural) [Geology, geodynamics and structural features of the northern part of the Sakmar zone (Southern Urals)]. *Geologicheskii vestnik*. (2), 90–116. Ufa, IG UNTs RAN. DOI: 10.31084/2619–0087/2024-2-8 (In Russian).

Kosarev A. M., Znamenskii S. E., Seravkin I. B., Rodicheva Z. I. (2003) Osobennosti khimizma vulkanitov Voznesensko-Prisakmarskoi zony [Features of the chemistry of the volcanic rocks of Voznesenka-Prisakmara zone]. *Geologicheskii sbornik*. (3), 152–161. Ufa, IG UNTs RAN. (In Russian).

Kosarev A. M., Puchkov V. N., Seravkin I. B. (2005) Petrologo-geokhimicheskie osobennosti rannedevonsko-eifel'skikh ostrovoduzhnykh vulkanitov Magnitogorskoi zony v geodinamicheskom kontekste [Petrological and geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island-arc volcanics of the Magnitogorsk zone in a geodynamic context]. *Lithosphere*. (4), 22–42. (In Russian).

Kosarev A. M., Puchkov V. N., Seravkin I. B. (2006) Petrologo-geokhimicheskie osobennosti srednedevonsko-rannekamennougol'nykh ostrovoduzhnykh i kollizionnykh vulkanitov Magnitogorskoi zony v geodinamicheskom kontekste [Moderately alkaline and alkaline volcanism of the Early Emsian time in the Southern Urals: geochemical features and geodynamic reconstructions]. *Lithosphere*, (1), 3–21. (In Russian).

Kosarev A. M., Puchkov V. N., Seravkin I. B. Shafigullina G. T. (2021) Geodinamicheskie usloviya vulkaniz-

ma i kolchedanoobrazovaniya v Magnitogorskoi megazone v pozdneemssko-ranneeifel'skoe vremya [Geodynamic conditions of volcanism and pyrite formation in the Magnitogorsk megazone in the late Emsian-early Eifelian time]. *Lithosphere*, (6), 775–804. (In Russian).

Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B., Shafigullina G.T. (2022) Kolchedanonosnye vulkanicheskie kompleksy Magnitogorskoi paleoostrovoduzhnoi megazony na Yuzhnom Urale: modeli rudno-magmaticheskikh sistem, geodinamicheskie rekonstruktsii [Pyrite-bearing volcanic complexes of the Magnitogorsk paleoisland-arc megazone in the Southern Urals: models of ore-magmatic systems, geodynamic reconstructions]. *Petrology*, **30** (1), 91–118. https://doi.org/10.31857/S0869590322010058 (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]. *Lithosphere*. **18** (2), 246–279. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-246-279 (In Russian)

Kosarev A.M., Seravkin I.B. (1994) *Kolchedanonosnye ostrovnye dugi Yuzhnogo Urala i model' maloglubinnykh plyumov* [Pyrite-bearing island arcs of the Southern Urals and the model of shallow plumes]. *Metallogeniya skladchatykh sistem s pozitsii tektoniki plit. Tezisy dokladov I Vserossiiskogo metallogenicheskogo soveshchaniya* [Metallogeny of folded systems from the standpoint of plate tectonics. Abstracts of the reports of the 1st All-Russian metallogenic conference]. Ekaterinburg, 197–98. (In Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B., Kholodnov V.V. (2014) Geodinamicheskie i petrologo-geokhimicheskie aspekty zonal'nosti Magnitogorskoi kolchedanonosnoi megazony na Yuzhnom Urale [Geodynamic and petrological-geochemical aspects of zonality of the Magnitogorsk pyrite-bearing megazone in the Southern Urals]. *Lithosphere*. (2), 3–25. (In Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B., Shafigullina G.T. (2017) Subshchelochnoi i izvestkovo-shchelochnoi vulkanizm ranneeifel'skogo vozrasta i svyazannye s nim polimetallicheskoe orudenenie v Magnitogorskoi megazone Yuzhnogo Urala [Subalkaline and calc-alkaline volcanism of the early Eifelian age and associated polymetallic mineralization in the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals]. *Lithosphere*. (3), 29–58. (In Russian).

Kosarev A.M., Sopko L.N. (1974) Stroenie i usloviya formirovaniya datsit-liparitovoi tolshchi irendykskoi svity v Makan-Buribaiskom raione na Yuzhnom Urale [Structure and conditions of formation of the dacite-liparite strata of the Irendyk suite in the Makan-Buribai region in the Southern Urals]. *Tektonika i magmatizm Yuzhnogo Urala* [Metallogens of folded systems from the standpoint of dress tectonics. Abstract of the reports of the first Al-Russian metallogenic conference]. Moscow, Nauka Publ., 220–232. (In Russian).

Kosarev A.M., Timofeeva E.A., Shafigullina G.T., Danilenko S.A. (2023) Geodinamicheskie obstanovki siluriisko-rannedevonskogo vulkanizma na severe Sakmarskoi zony (Yuzhnyi Ural) [Geodynamic settings of the Silurian-Early Devonian volcanism in the north of the Sakmara zone (Southern Urals)]. *Geologicheskii vestnik*, (3), 59–73. DOI: 10.31084/2619–0087/2023-3-6 (In Russian).

Kosarev A.M., SHafigullina G.T., Minibaeva K.R. (2020) Irendykskaya razvitaya ostrovnaya duga ranneeifel'skogo vozrasta: vulkanizm, kolchedannoe orudenenie, platinovaya mineralizatsiya [Irendyk developed island arc of Early-Eifelian age: volcanism, massive sulfide occurence, platinum mineralization]. *Geologicheskii vestnik*, (3), 84–93. DOI: 10.31084/2619–0087/2020-3-7

Krinitskii D.D., Krinitskaya V.M. (1961) Stratigrafiya metaorficheskikh tolshch raiona srednego techeniya r. Sakmary [Stratigraphy of metaorphic strata in the middle reaches of the Sakmara River]. *Scientific notes of Saratov State University*, 67a, 167–174. (In Russian).

Kropachev S.M., Borodaev Yu.S., Goncharova T.Ya. (1968) *Blyavinskii rudnyi raion* [Blyavinsky ore region]. *Paleozoiskii vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala* [Paleozoic volcanism and pyrite deposits of the Southern Urals]. Moscow, Izd-vo MGU, 97–150. (In Russian).

Kurnosov V.V. (1986) *Gidrotermal'nye izmeneniya bazal'tov v Tikhom okeane i metallonosnye otlozheniya* [Hydrothermal alterations of basalts in the Pacific Ocean and metalliferous deposits]. Moscow, Nauka Publ., 252 p. (In Russian).

Kuskov V.N. (1982) *Khimicheskii sostav vulkanogennykh porod Ivdel'skogo kolchedanonosnogo polya* [Chemical composition of volcanic rocks of the Ivdel pyrite field]. *Khimizm kolchedanonosnykh vulkanogennykh formatsiya* [Chemistry of pyrite-bearing volcanogenic formations]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 25–33. (In Russian).

Lennykh V.I. (1977) *Eklogit-glaukofanslantsevye poyasa Urala* [Eclogite-glaucophane schist belts of the Urals]. Moscow, Nedra Publ., 158 p. (In Russian).

Leonenok N.I. (1955) *Siluriiskie otlozheniya Kos-Istekskogo raiona* (Severnye Mugodzhary) [Silurian deposits of the Kos-Istek region (Northern Mugodzhary)]. Trudy Laboratorii geologii uglya AN SSSR, 3, 116–225. (In Russian).

L'vov K.A. (1965) *Ural'skaya skladchataya oblast'* [Ural folded region]. Stratigrafiya SSSR [Stratigraphy of the USSR]. Kembriiskaya sistema. Moscow, Nedra Publ., 71–114. (In Russian).

Maslennikov V.V. (1999) *Sedimentogenez, gal'miroliz i ekologiya kolchedanonosnykh paleogidrotermal'nykh polei (na primere Yuzhnogo Urala)* [Sedimentogenesis, halmyrolysis and ecology of pyrite-bearing paleohydrothermal fields (on the example of the Southern Urals)]. Miass, IMin UrO RAN, 347 p. (In Russian).

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Lein A.Yu. (2019) *Mineralogiya i geokhimiya drevnikh i sovremennykh chernykh kuril'shchikov* [Mineralogy and geochemistry of ancient and modern black smokers]. Moscow, RAN, 832 p. (In Russian).

Maslov V.A., Artyushkova O.V. (2010) *Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozhenii Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* [Stratigraphy and correlation of Devonian deposits of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals]. Ufa, DizainPoligrafServis, 288 p. (In Russian).

Maslov V.A., Artyushkova O.V. (2000) *Stratigrafiya paleozoiskikh obrazovanii Uchalinskogo raiona Bashkirii* [Stratigraphy of Paleozoic formations of the Uchalinsky district of Bashkiria]. Ufa, IG USC RAN, 140 p. (In Russian).

Maslov V.A., Artyushkova O.V., Baryshev V.N. (1987) *Stratigrafiya devonskikh otlozhenii Magnitogorskogo me-*

gasinklinoriya [Stratigraphy of Devonian deposits of the Magnitogorsk megasynclinorium]. *Sovetskaya geologiya*, (9), 61–71. (In Russian).

Maslov V. A., Cherkasov V. L., Tishchenko V. T., Smirnova I. A., Artyushkova O. V., Pavlov V. V. (1993) *Stratigrafiya i korrelyatsiya srednepaleozoiskikh vulkanogennykh kompleksov osnovnykh mednokolchedannykh raionov Yuzhnogo Urala* [Stratigraphy and correlation of Middle Paleozoic volcanogenic complexes of the main copper-pyrite regions of the Southern Urals]. Otv. redaktor V. A. Maslov. Ufa, UNTs RAN, 217 p. (In Russian).

Melekestseva I. Yu. (2007) *Geterogennye kobal't-mednokolchedannye mestorozhdeniya v ul'tramafitakh paleoostrovoduzhnykh struktur* [Heterogeneous cobalt-copper pyrite deposits in ultramafites of paleo-island-arc structures]. (Otv. red. V. V. Zaikov). Moscow, Nauka Publ., 245 p. (In Russian).

Moseichuk V. M., Surin T. N. (1998) *Famen-turneiskaya bazal't-pikritovaya (sara-tyubinskaya) tolshcha Vostochno-Magnitogorskoi zony Yuzhnogo Urala: geologiya, geokhimiya, mineralogiya i petrogenezis* [Famennian-Tournaisian basalt-picrite (Sara-Tyubinskaya) strata of the East Magnitogorsk zone of the Southern Urals: geology, geochemistry, mineralogy and petrogenesis]. Ufa, IG UNTs RAN, 112 p. (In Russian).

Murdmaa I. O. (1987) *Fatsii okeanov* [Ocean Facies]. Moscow, Nauka Publ., 303 p. (In Russian).

Peive A. V., Ivanov S. N., Necheukhin V. M., Perfil'ev A. S., Puchkov V. N. (1977) *Tektonika Urala: Ob"yasnitel'naya zapiska k Tektonicheskoi karte masshtaba 1:1 000 000* [Ural Tectonics: Explanatory Note to the Tectonic Map at Scale 1:1 000 000]. Moscow, Nauka Publ., 120 p. (In Russian).

Petrov G. A. (2022) *Geokhimicheskie osobennosti vulkanitov severnoi chasti Tagil'skoi struktury kak trazhenie evolyutsii paleozony subduktsii* [Geochemical features of volcanics of the northern part of the Tagil structure as a reflection of the evolution of the paleo subduction zone]. *Lithosphere*, (6), 709–740. https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-709-740 (In Russian).

Plotinskaya O. Yu. (2023) Porfirovo-epitermal'nye sistemy Urala: istochniki veshchestva, evolyutsiya i zonal'nost' [Porphyry-epithermal systems of the Urals: sources of matter, evolution and zonality]. Avtoreferat dis. na soiskanie uchenoi stepeni doktora geol.-miner. nauk. Moscow, IGEM RAN, 39 p. (In Russian).

Prokin V. A. (1977) *Zakonomernosti razmeshcheniya kolchedannykh mestorozhdenii na Yuzhnom Urale* [Regularities of the distribution of pyrite deposits in the Southern Urals]. Moscow, Nedra Publ., 174 p. (In Russian).

Puchkov V. N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and the Urals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DizainPoligrafServis, 280 p. (In Russian).

Puchkov V. N. (2000) *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Dauriya Publ., 146 p. (In Russian).

Puchkov V. N., Ivanov K. S. (1983) *K stratigrafii ranne-srednedevonskikh otlozhenii Sakmarskoi zony* [On the stratigraphy of the early-middle Devonian deposits of the Sakmara zone]. Ezhegodnik-1982 IGiG UNTs AN SSSR. Sverdlovsk, IGiG UNTs AN SSSR, 6–8. (In Russian).

Ringvud A. E. (1981) *Sostav i petrologiya mantii Zemli* [Composition and petrology of the Earth's mantle]. Moscow, Nedra Publ., 584 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 Sakmara zone of the Southern Urals in the area of the Mednogorsk pyrite deposits]. Ocherki po regional'noi tektonike, Yuzhnyi Ural [Essays on regional tectonics of the Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 84–134. (In Russian).

Semenov I. V. (2000) *Paleookeanicheskii spredingovyi vulkanizm Urala i rekonstruktsiya parametrov Ural'skogo paleozoiskogo okeana* [Paleooceanic spreading volcanism of the Urals and reconstruction of the parameters of the Ural Paleozoic ocean]. Ekaterinburg, UrO RAN, 362 p. (In Russian).

Seravkin I. B. (1986) *Vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala* [Volcanism and pyrite deposits of the Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 268 p. (In Russian).

Seravkin I. B., Znamenskii S. E., Kosarev A. M. (2003) Glavnyi Ural'skii razlom na Yuzhnom Urale: struktura i osnovnye etapy formirovaniya [The Main Ural Fault in the Southern Urals: Structure and Main Stages of Formation]. *Geotectonics*. (3), 42–64. (In Russian).

Seravkin I. B., Znamenskii S. E., Kosarev A. M. (2001) *Razryvnaya tektonika i rudonosnost' Bashkirskogo Zaural'ya* [Fault tectonics and ore-bearing capacity of the Bashkir Trans-Urals]. Ufa, Poligrafkombinat, 318 p. (In Russian).

Seravkin I. B., Znamenskii S. E., Kosarev A. M., Rykus M. V., Salikhov D. N., Snachev V. I., Moseichuk V. M. (1994) *Vulkanogennaya metallogeniya Yuzhnogo Urala* [Volcanogenic metallogeny of the Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 160 p. (In Russian).

Seravkin I. B., Kosarev A. M. (2001) *Modeli kolchedanonosnoi rudno-magmaticheskoi sistemy i kolchedannogo mestorozhdeniya Ural'skogo tipa* [Models of pyrite-bearing ore-magmatic system and pyrite deposit of the Ural type]. *Smirnovskii sbornik-2001*. Moscow, Fond im. Akad. V. I. Smirnova RAEN, 118–151. (In Russian).

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

Seravkin I. B., Rodicheva Z. I. (1990) *Krakinsko-Mednogorskii paleovulkanicheskii poyas* [Krakinsko-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 vulkanogennykh porod i kolchedannogo orudeneniya 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 geosinklinalei. Ufa, BFAN SSSR, 82–92. (In Russian).

Sopko P. F., Seravkin I. B., Bobokhov A. S., Kosarev A. M. (1983) *Srednepaleozoiskii vulkanizm Bashkirskogo Zaural'ya i svyaz' s nim kolchedannogo orudeneniya* [Middle Paleozoic

volcanism of the Bashkir Trans-Urals and its connection with pyrite mineralization]. Ufa, BFAN SSSR, 116 p. (In Russian).

Surin T.N. (1993) *Petrologiya i geokhimiya vulkanitov rannezhivetskoi bazal't-riolitovoi kolchedanonosnoi formatsii* [Petrology and geochemistry of volcanics of the early Givetian basalt-rhyolite pyrite-bearing formation]. Preprint doklada Prezidiumu UNTs RAN. Ufa, 44 p. (In Russian).

Tishchenko V.T. (1971) *Shchelochno-bazal'toidnaya formatsiya nizhnego devona v yuzhnoi chasti zapadnogo kryla Magnitogorskogo progiba* [Lower Devonian alkali-basaltoid formation in the southern part of the western wing of the Magnitogorsk trough]. Tezisy dokl. k I simpoziumu po vulkanizmu Yuzhnogo Urala. Miass, UNTs RAN, P. 43–44. (In Russian).

Fedorov P.V., Korinevskii V.G., Zolotarev B.P. (2017) Geokhimiya rannedevonskikh kalievykh porod Sakmarskoi zony Yuzhnogo Urala [Geochemistry of Early Devonian potassium rocks of the Sakmara zone of the Southern Urals]. *Geochemistry*, (4), 314–328. (In Russian).

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

Fershtater G.B., Kotov A.B., Pushkarev E.V., Sal'nikova E. B., Kovach V.P., Yakovleva S.Z., Berezhnaya N.G. (2000) U — Pb vozrast tsirkona iz diorita Nuralinskogo lertsolit-gabbrovogo massiva [U — Pb age of zircon from diorite of the Nuralinsky lherzolite-gabbro massif]. *Doklady Earth Sciences*, **371** (1), 96–100. (In Russian).

Frolova T.I., Burikova I.A. (1977) *Geosinklinal'nyi vulkanizm (na primere vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala)* [Geosynclinal volcanism (on the example of the eastern slope of the Southern Urals)]. Moscow, MGU, 266 p. (In Russian).

Frolova T.I., Ostrovskaya E.V. (1969) *O nakhodke shchelochnykh vulkanogennykh porod na vostochnom sklone Yuzhnogo Urala* [On the discovery of alkaline volcanic rocks on the eastern slope of the Southern Urals]. *Magmaticheskie formatsii, metamorfizm, metallogeniya Urala. Tr. II Ural'skogo petrograficheskogo soveshch. III. Bazal'toidnyi magmatizm i ego metallogeniya* [Magmatic formations, metamorphism, metallogeny of the Urals. Proceedings of the II Ural Petrographic Conference. Vol. III. Basaltoid magmatism and its metallogeny]. Sverdlovsk, USSR Academy of Sciences, 254–257. (In Russian).

Khain V.E., Lomize M.G. (2005) *Geotektonika s osnovami geodinamiki* [Geotectonics with the basics of geodynamics]. Moscow, KDU, 560 p. (In Russian).

Khvorova I.V. (1974) Kremnievye brekchii v paleozoe Yuzhnogo Urala [Siliceous breccias in the Paleozoic of the Southern Urals]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologiya,* (8), 68–74. (In Russian).

Khvorova I.V., Il'inskaya M.N. (1963) *Sravnitel'naya kharakteristika dvukh vulkanogenno-osadochnykh formatsii Yuzhnogo Urala* [Comparative characteristics of two volcanogenic-sedimentary formations of the Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 86 p. (In Russian).

Khodorevskaya L.I. (2017) Vliyanie flyuidnogo rezhima na plavlenie porod okeanicheskoi kory (eksperimental'nye dannye) pri 900–1000°C, 5–10 kbar. Granity i evolyutsiya Zemli: mantiya i kora v granitoobrazovanii [Effect of fluid regime on melting of oceanic crust rocks (experimental data) at 900–1000°C, 5–10 kbar. Granites and the evolution of the Earth: mantle and crust in granite formation]. *Materialy III mezhdunarodnoi geologicheskoi konferentsii* [Proceedings of the III International Geological Conference]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 328–329. (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 as a reflection of the stages of geodynamic and geochemical evolution of a collisional orogen]. *Geodynamics and tectonophysics*, 12 (2), 225–245. DOI: 10.5800/GT-2021-12-2-0522 (In Russian).

Chibrikova E.V., Olli V.A. (1999) *Ekzoticheskie bloki porod v razrezakh paleozoya Yuzhnogo Urala i Severnogo Kavkaza* [Exotic rock blocks in the Paleozoic sections of the Southern Urals and Northern Caucasus]. Ezhegodnik-1997. Ufa, IG UNTs RAN, 21–25. (In Russian).

Shteinberg D.S. (1974) *Geologicheskaya istoriya Urala i petrologiya* [Geological history of the Urals and petrology]. *Magmatizm, metamorfizm i rudoobrazovaniev geologicheskoi istorii Urala* [Magmatism, metamorphism and ore formation in the geological history of the Urals]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 39–58. (In Russian).

Yazeva R.G., Bochkarev V.V. (1998) *Geologiya i geodinamika Yuzhnogo Urala (opyt geodinamicheskogo kartirovaniya)* [Geology and Geodynamics of the Southern Urals (experience of geodynamic mapping)]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 203 p. (In Russian).

Yakovlev G.F., Goncharova T.Ya. (1965) *Tektonika, magmatizm i kolchedannye mestorozhdeniya Blyavinskogo raiona (Yuzhnyi Ural)* [Tectonics, magmatism and pyrite deposits of the Blyavinsky district (Southern Urals)]. Moscow, Trudy TsNIGRI, **69**, 44–66. (In Russian).

Bailey J.C., Frolova T.I., Burikova I.A. (1989) Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of Kurile island-are basalts. *Contribition to Mineralogy and Petrology,* **102**, 265–280.

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

Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M. (2006) Geochemical characterization of Precambrian magmatic syites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia. Geological collection. No. 5. IG Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Ufa, DesignPoligrafService, 119–161.

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. https://doi.org/10.1016/S0012-821X (97) 00170–2

Hetzel R. (1999) Geology and geodynamic evolution of the high-P/low-T Maksyutov Complex, Southern Urals, Russia. *Geologische Rundschau*, **87**, 577–588.

Honda S., Uyeda S. (1983) Thermal process in subduction zones — a review and preliminary approach on the origin of

arc volcanism. Arc volcanism: physics and tectonics. Tokio: TERRAPUB, 117–140.

Jonas P. (2004) *Tectonostratigraphy of oceanic crustal terrains hosting serpentinite — associated massive sulfide deposits in the Main Uralian Fault Zone (South Urals)*. Geowissenschaften. P. 498. Freiberg, 123 p.

Molnar P., Atwater T. (1978) Interarc spreading and Cordilleran tectonics as alternates related to the age of subducted oceanic lithosphere. *Earth and Planetary Science Letters.,* **41**, 330–340.

Nimis P., Omenetto P., Buschmann B., Jonas P., Simonov V. A. (2010) Geochemistry of igneous rocks associated with ultramafic — mafic-hosted Cu (Co, Ni, Au) VMS deposits from the Main Uralian Fault (Southern Urals, Russia). *Contribition to Mineralogy and Petrology*, **100** (3–4), 201–214. DOI: 10.1007/s00710-010-0134-6

Pearce J. A. (2008) Geohemical fingerprinting of oceanic basalts applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, **100**, 14–48.

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.

Sun S. S. and McDonough W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts. Implications for mantle composition and process. *Geological Society of Lonndon, Special Publication*, **42**, 313–345.

Wilson J. T. (1965) A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature,* **207** (4995), 343.

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

Холоднов Владимир Васильевич, доктор геол.-минер. наук, Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург. holodnov@igg.uran.ru

Шагалов Евгений Сергеевич, кандидат геол.-минер. наук, Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, shagalove@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. mkarina@mail.ru

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

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

Kholodnov Vladimir Vasilyevich, Doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology and Geochemistry named after Academician A. N. Zavaritsky, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg. holodnov@igg.uran.ru

Shagalov Evgeny Sergeevich, candidate of of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology and Geochemistry named after Academician A. N. Zavaritsky, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, shagalove@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. mkarina@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. shafigullina_g@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 20.02.2025; принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 12.02.2025; approved after reviewing 20.02.2025; accepted for publication 03.03.2025.