

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.323.5

DOI: [10.46698/VNC.2022.77.30.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.77.30.001)

Оригинальная статья

Раннекиммерийские вулканоплутонические образования из района Садонской группы полиметаллических месторождений Северной Осетии: геодинамическая типизация и минерагения

В.М. Газеев^{1, 2}, А.Г. Гурбанов^{1, 2}, А.Я. Докучаев¹, И.А. Кондрашов¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: gurbanov@igem.ru;

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 363110, РСО-Алания, Пригородный район, с. Михайловское, ул. Вильямса, 1, e-mail: gazeev@igem.ru

Статья поступила: 14.04.2022, доработана: 20.05.2022, одобрена в печать: 24.05.2022

Резюме: Актуальность работы. В южной части Скифской плиты, в Дигоро-Осетинской зоне Большого Кавказа, известны раннекиммерийские вулканоплутонические образования, с которыми пространственно ассоциируют полиметаллические месторождения Садонского рудного поля. Геохимические исследования этих пород необходимы для уточнения геодинамического развития региона и оценки их рудоносности. **Целью исследования** является расшифровка геодинамической позиции вулканических и плутонических пород и их минерагенической специализации. **Объектом исследований** выбраны гранитоиды Цейского комплекса, распространенные в юго-восточной части Адайхохского выступа, и эффузивные породы Садонской свиты, развитые в Штулу-Харезской депрессии и в восточной части Балкаро-Дигорского выступа Большого Кавказа. **Методы исследования** включали: петрографическое описание пород, анализы методами RFA, ICP-MS; геохимические характеристики; построение и анализ дискриминационных и диагностических диаграмм; сравнение концентраций рудных элементов в исследованных и эталонных породах близкого петрохимического типа сформировавшихся в различных геодинамических обстановках. **Результаты работы.** Установлено, что раннекиммерийские магматические породы являются нормально щелочными и реже умеренно щелочными образованиями известково-щелочной серии. Эффузивы – андезиты, дациты и риодациты – умеренно титанистые, высоко и умеренно магниезиальные образования с калиево-натровым и натровым типами щелочности. Гранитоиды – магниезиальные, высокоглиноземистые образования, близкие к гранитам андезитового ряда, но отличающиеся от последних меньшими содержаниями Sr и Ba. В них преобладают признаки гранитов I-типа с отклонениями в сторону гранитов M- и S-типов. Мультиэлементные спектры вулканитов и гранитоидов однотипны. Спектры андезитов, нормированных к *N-MORB*, свидетельствуют об обогащении их *LILE* и *HFSE*. Отмечаются обеднение пород *TREE* и негативные аномалии *Nb*, *Ti*, *Y*. Исходные расплавы образовались за счет дегидратационного плавления нижнекоровых пород фундамента Скифской плиты, происходившего при участии мантийных расплавов с *E-MORB* подобными характеристиками. Установлено, что раннекиммерийские вулканоплутонические образования формировались на активной континентальной окраине в постколлизивной обстановке, на начальном этапе задугового спрединга. Породы характеризуются высокой флюидонасыщенностью и повышенным содержанием серебра. Предполагается перспективность южной окраины Скифской плиты на открытие новых полиметаллических, Au-Ag-полиметаллических и Au-Ag месторождений, еще не вскрытых современной эрозией.

Ключевые слова: петрография, геохимия, геодинамическая типизация, минерогения, Садонская группа полиметаллических месторождений.

Благодарности: Работа подготовлена в рамках Госзадания ИГЕМ РАН РАН «Петрология и минерогения магматизма конвергентных и внутриплитных обстановок: история формирования крупных континентальных блоков», регистрационный № ЕГИСУ НИОКТР 121041500222-4 и при поддержке гос. темы регистрационный № АААА-А19-119040190054-8 в КНИО ВНЦ РАН.

Для цитирования: Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Докучаев А.Я., Кондрашов И.А. Раннекиммерийские вулcano-плутонические образования из района Садонской группы полиметаллических месторождений Северной Осетии: геодинамическая типизация и минерогения. *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12(2): 6-18. DOI: 10.46698/VNC.2022.77.30.001

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

[DOI: 10.46698/VNC.2022.77.30.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.77.30.001)

Original paper

Early Cimmerian volcano-plutonic formations of the Sadon group of polymetallic deposits in North Ossetia: geodynamic typification and minerageny

V.M. Gazeev^{1, 2}, A.G. Gurbanov^{1, 2}, A.Ya. Dokuchaev¹,
I.A. Kondrashov¹

¹Institute of geology of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry RAS, 35 Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russian Federation, e-mail: gurbanov@igem.ru;

²Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 1 Williams str., Prigorodny district, Mikhailovskoye village 363110, Russian Federation, e-mail: gazeev@igem.ru

Received: 14.04.2022, revised: 20.05.2022, accepted: 24.05.2022

Abstract: Relevance. In the southern part of the Scythian plate, in the Digoro-Ossetian zone of the Greater Caucasus, early Cimmerian volcanic-plutonic formations are known, with which the polymetallic deposits of the Sadon ore field are spatially associated. Geochemical studies of these rocks are necessary to clarify the geodynamic development of the region and assess their ore potential. **The aim of the study** is to decipher the geodynamic position of volcanic and plutonic rocks and their mineragenic specialization. Granitoids of the Tsey complex, which are distributed in the southeastern part of the Adaikhokh salient, and effusive rocks of the Sadon suite in the Shtulu-Khars depression and in the eastern part of the Balkaro-Digorsk salient of the Greater Caucasus, were chosen as the object of study. **Methods.** Petrographic description of rocks, analysis of samples by XRF, ICP-MS; calculations of geochemical characteristics; construction and analysis of diagnostic, discrimination and multi-element diagrams; comparison of the concentrations of rare and ore elements in the studied and reference rocks of similar petrochemical composition, but formed in different geodynamic settings. **Results.** It has been established that early Cimmerian igneous rocks are normally alkaline and less often moderately alkaline formations of the calc-alkaline series. Effusives – andesites, dacites and rhyodacites – are moderately titanium, high and moderately magnesian formations with potassium-sodium and sodium types of alkalinity. Granitoids are magnesian, high-alumina formations similar to andesitic granites, but differing from the latter in lower contents of Sr and Ba. They are dominated by signs of I-type granites with deviations towards M and S-type granites. The multielement spectra of volcanics and granitoids are of the same type. The spectra of andesites normalized to N-MORB indicate their enrichment in LILE and HFSE. Depletion of TREE rocks and negative anomalies of Nb, Ti, Y are noted. The initial melts were formed due to dehydration melting of the lower crustal rocks of the basement of the Scythian plate, which occurred with the participation of mantle melts with E-MORB similar characteristics. It

has been established that the Early Cimmerian volcano-plutonic formations were formed on the active continental margin in a post-collision setting, at the initial stage of back-arc spreading. The rocks are characterized by high fluid saturation and elevated silver content. The prospects of the southern margin of the Scythian plate for the discovery of new polymetallic ones are assumed, Au–Ag–polymetallic and Au–Ag deposits not yet exposed by modern erosion.

Keywords: petrography, geochemistry, geodynamic typification, minerageny, Sadon group of polymetallic deposits.

Acknowledgments: This work was supported by the State Assignment of IGEM RAS “Petrology and minerageny of magmatism in convergent and intraplate environments: history of formation of large continental blocks” Registration No. EGISU R&D 121041500222-4 and prepared with the support of the state. subject registration number AAAA-A19-119040190054-8 in the KNIO VSC RAS.

For citation: Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Dokuchaev A.Y., Kondrashov I.A. Early Cimmerian volcano-plutonic formations of the Sadon group of polymetallic deposits in North Ossetia: geodynamic typification and minerageny. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12(2): 6-18. DOI: 10.46698/VNC.2022.77.30.001

Введение

Актуальность работы. Геохимическое изучение гранитоидных плутонических пород Северной Осетии, сформировавшихся в позднем триасе – ранней юре на заключительном этапе индосинийской фазы тектогенеза, и широко распространенных здесь раннеюрских (геттанг-раннеплинсбахских) вулканоплутонических образований является важной проблемой. Ее актуальность очевидна в связи с тем, что с ними пространственно ассоциируют месторождения и многочисленные рудопроявления Садонского свинцово-цинково-медного рудного района и Штулу-Харезской (Pb-Zn-Cu) рудной зоны.

Целью исследования является петролого-геохимическое изучение раннекеммерийских (конец триаса – начало юры) вулканических и интрузивных пород, распространенных в Дигоро-Осетинской зоне Большого Кавказа (БК), их геодинамическая типизация и минерогения.

Объектами для исследования выбраны эффузивные породы Садонской свиты (СС) и гранитоиды Цейского комплекса (ЦК). Выходы СС приурочены к южному борту Штулу-Харезской депрессии и к области восточного погружения Балкаро-Дигорского выступа (рис. 1). Стратотип СС описан в долине р. Садонки. В ее основании залегают кварцевые конгломераты и гравелиты (22 м) с прослоями туфов и лав среднего состава. Верхнюю часть разреза составляют дацитовые и андезидацитовые лавы (314 м) с прослоями туфов; их суммарная мощность 336 м. Процент пирокластического материала в общем объеме продуктов извержения не превышает 22%. Возраст пород СС определен как геттанг-раннеплинсбахский (на основании находок фауны: *Aequipecten priscus* Schl., *Lima acuticosta* Goldf., *Leda graphiea* Tate., *Chlamys ex gr. textoria* Schloth) и как ааленский по определениям изотопного возраста эффузивов (К-Аг метод): 186 ± 12 млн лет. Цейский диорит-гранодиоритовый комплекс распространен в юго-восточной части Адайхохского выступа. В составе комплекса выделяют две фазы. Первая, основная, представлена гранитами, гранодиоритами и кварцевыми диоритами. Во второй, дайково-жильной фазе, по структурным особенностям выделяют гранодиорит-порфиры, андезидациты, аплиты. Имеются данные изотопного датирования: (U-Pb метод) $196 \pm 3,5$ млн лет, (К-Аг метод) дайки гранодиорит-порфиров 180 ± 8 и 181 ± 6 млн лет [Письменный и др., 2006].

Фактический материал и методы его исследования

Для проведенных исследований в 2010–2012 гг. была отобрана коллекция образцов с объектов СС и ЦК из долин рек Цейдон, Айгамуга, Архондон и из района месторождений Джимидон и Бозанг. Аналитические данные получены в ЦКП

«ИГЕМ-Аналитика». На спектрометре «Респект-100» рентгено-флуоресцентным методом (XRF) изучено 38 проб. На масс-спектрометре X-Series II методом спектроскопии с индукционно-связанной плазмой (ICP-MS) исследовано 14 проб. Аналитические измерения контролировались российскими и международными стандартами. Силикатные анализы были заимствованы из литературных источников [Цветков, 1977].

Результаты работы и их обсуждение

Андезиты и дациты СС имеют сериально-порфировую структуру. Вкрапленники представлены плагиоклазом, амфиболом и реже кварцем. Плагиоклаз (андезин, олигоклаз=андезин) присутствует в виде кристаллов, среди которых отмечены: ситовидные с включениями стекла, замещенного хлоритом, а также деанортизированные, альбитизированные и серицитизированные разновидности. Единичные кристаллы амфибола диагностируются по кристаллографическим очертаниям: они замещены агрегатом сфена, карбоната, хлорита, редко пренита. Основная масса (ОМ) имеет аллотриоморфнозернистую и микролитовую структуру. ОМ сложена полевым шпатом (преобладает), а также кварцем, сфеном, рутилом, рудным минералом и новообразованиями карбоната, хлорита, серицита, эпидота, халцедона. Дацинты отличаются появлением среди вкрапленников более кислого плагиоклаза (олигоклаза), биотита и большего количества кварца в ОМ породы.

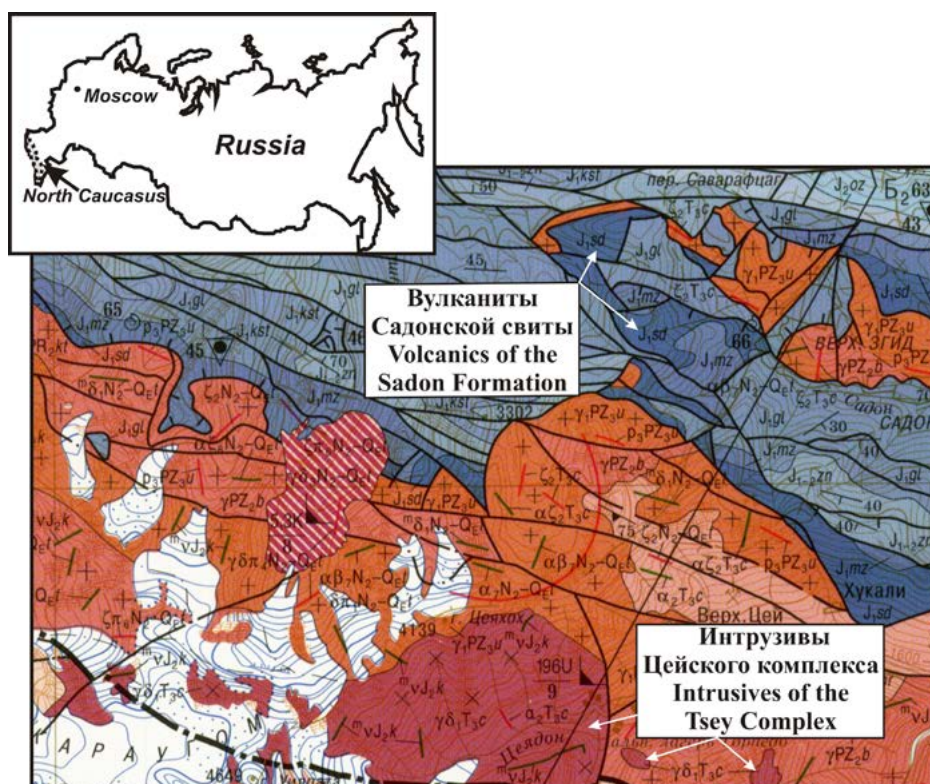


Рис. 1. Геологическая карта Ардон-Урухского междуречья, на которой показаны отложения Садонской свиты и интрузивы Цейского комплекса (использованы материалы листов К-38-VIII, XIV ФГУП «Кавказгеолсъемка», 2002 г.; Письменный и др. Государственная геологическая карта РФ. К-38 IX, XV. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. Карта и условные обозначения к ней на сайте <https://wega.vsegei.ru/site/gisatlas/>) /

Fig. 1. Geological map of the Ardon-Uruk interfluve with deposits of the Sadon suite and intrusions of the Tsey complex (based on the materials of the FGUP "Kavkazgeols'emka" sheets K-38-VIII, XIV. 2002; Pismenny and others. State geological map of the Russian Federation. K-38 IX, XV. – St. Petersburg: VSEGEI, 2006. Map and symbols for it on the website <https://wega.vsegei.ru/site/gisatlas/>) /

Граниты, гранит-порфиры, гранодиориты характеризуются структурой от гипидиоморфнозернистой до сериально- и гломеропорфировой. Породы в разных количествах сложены плагиоклазом (олигоклазом-андезином), калиевым полевым шпатом, кварцем, роговой обманкой и биотитом. Акцессорными минералами являются апатит, циркон, сфен, магнетит, а вторичными – эпидот, карбонат, хлорит, серицит. В кварце и плагиоклазе отмечаются расплавные включения, содержащие микровключения светлой слюды, а также первичные и вторичные газово-жидкие включения. Из классификационной диаграммы $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$, представленной на (рис. 2), следует, что фигуративные точки (ФТ) составов тяготеют к полю нормально щелочных, реже к полю умеренно щелочных пород. На AFM диаграмме они группируются вдоль трендов дифференциации пород известково-щелочной серии, а на диаграммах SiO_2 – *петрогенные элементы* установлена отрицательная корреляция TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 с содержанием SiO_2 . Содержания MgO , CaO , Na_2O , K_2O существенно варьируют при одних и тех же значениях SiO_2 (рис. 2). Это умеренно-титанистые, высоко и умеренно-магнезиальные ($Mg^\#$ 0,4–0,7), умеренно- и низко-калиевые породы с калиево-натровым и натровым (Na_2O/K_2O 1,7–11,9 (Σ/n 3,6)) типом щелочности (табл. 1). ФТ на дискриминационной диаграмме (ДД) $Th/Yb - Ta/Yb$ [Gorton, Schandl, 2000] приурочены к полю пород АСМ активных континентальных окраин (АКО). На ДД $Rb/30 - Hf - Ta \times 3$ [Harris et al., 1986] ФТ группируются преимущественно в поле постколлизиионных гранитов (*post-COLG*) (рис. 3). На ДД $(Na_2O+K_2O) - Fe_2O_3^T \times 5 - (CaO+MgO) \times 5$ [Гребенщиков, 2014; Наумов и др., 2010], где римскими цифрами обозначены поля кислых магматических пород основных геодинамических обстановок, ФТ преимущественно сконцентрированы в поле V – т.е. поле пород, связанных с задуговыми структурами растяжения. На ДД $Yb - Eu$ [Туркина, 2000] ФТ гранодиоритов расположены в треугольных областях модельных составов, образующихся в результате дегидратационного плавления исходных пород при давлениях около 8 кбар. Гранитоиды ЦК – это магнезиальные, высокоглиноземистые образования, близкие к гранитам андезитового ряда (K 1,8%; Zr 115 г/т; Rb 92 г/т; Nb 12 г/т; Li 14 г/т; Ta 0,7 г/т; K/Rb 267; Ba/Rb 3,3) [Туркина, 2000], но отличаются меньшими содержаниями Sr и Ba . На ДД $FeOt/(FeOt+MgO) - SiO_2$ [Frost et al., 2001] ФТ пород ЦК расположены в поле гранитов *I-type* и *S-type*. Сопоставление петрохимических показателей ЦК показывает, что они имеют характеристики преимущественно гранитов *I-type* (A/CNK 0,96; Sr 207 г/т; Rb/Sr 0,65). Некоторые их признаки (Na_2O 4,3%; K_2O 2,4%; Zr 115 г/т; Rb 85 г/т) «сдвинуты» в сторону гранитов *M-type* и, в меньшей мере, гранитов *S-type* (CaO 2,6%; Nb 12 г/т). Спектры редких земель (рис. 4), нормированные к хондриту [Sun, McDonough, 1989], свидетельствуют о фракционировании *REE* с обогащением *LREE*. La^n/Yb^n отношение в андезитах и дацитах 6,0–11,4, в гранитоидах 6,0–11,5. Отношение La^n/Sm^n , соответственно, 2,7–3,8 и 3,4–5,9. Отношение Gd^n/Yb^n , соответственно, 1,3–1,7; 1,2–1,3. ΣREE (г/т), соответственно, 60–110 и 43–99. Спектр *REE* гранитоидов ЦК сопоставим со спектрами гранитов *I-type*. Спектр *REE* андезитов СС сопоставим со спектром базальтов *E-MORB*, но отличается более высокими содержаниями *LREE*. Количественный дефицит европия Eu/Eu^* ($Eu^* = (Sm_n + Gd_n)/2$) достигает: в андезитах и дацитах 0,57–0,95; в гранитоидах – 0,67–0,75. Мультиэлементные спектры пород СС и ЦК однотипны. Спектры андезитов, нормированных к *N-MORB*, свидетельствуют об их обогащении *LILE* и *HFSE*. Отмечаются обеднение пород *TREE* и негативные аномалии *Nb*, *Ti*, *Y*.

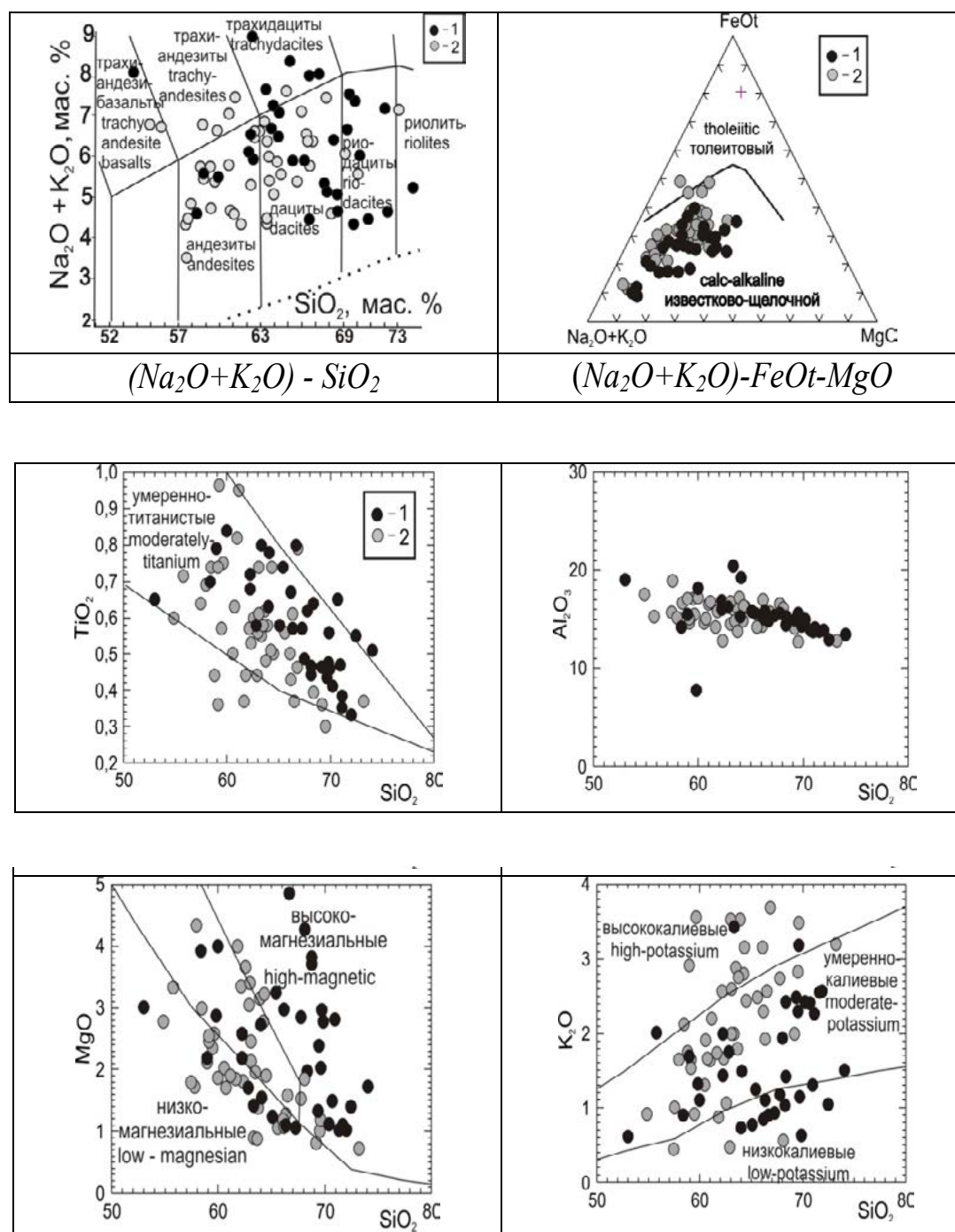


Рис. 2. Классификационные диаграммы и диаграммы концентраций петрогенных компонентов, на которых приведены составы изученных пород (в мас. %).

Условные обозначения:

- 1 – РФА вулканитов и гранитов (по результатам ЦКП «ИГЕМ-Аналитика»),
2 – силикатные анализы (по данным [Цветков, 1977]) /

Fig. 2. Rock compositions on classification diagrams and diagrams of concentrations of petrogenic components (in wt %). Symbols: 1 – XRF of volcanics and granites performed at the IGEM-Analytika Center for Collective Use, 2 – silicate analyzes [Tsvetkov, 1977]

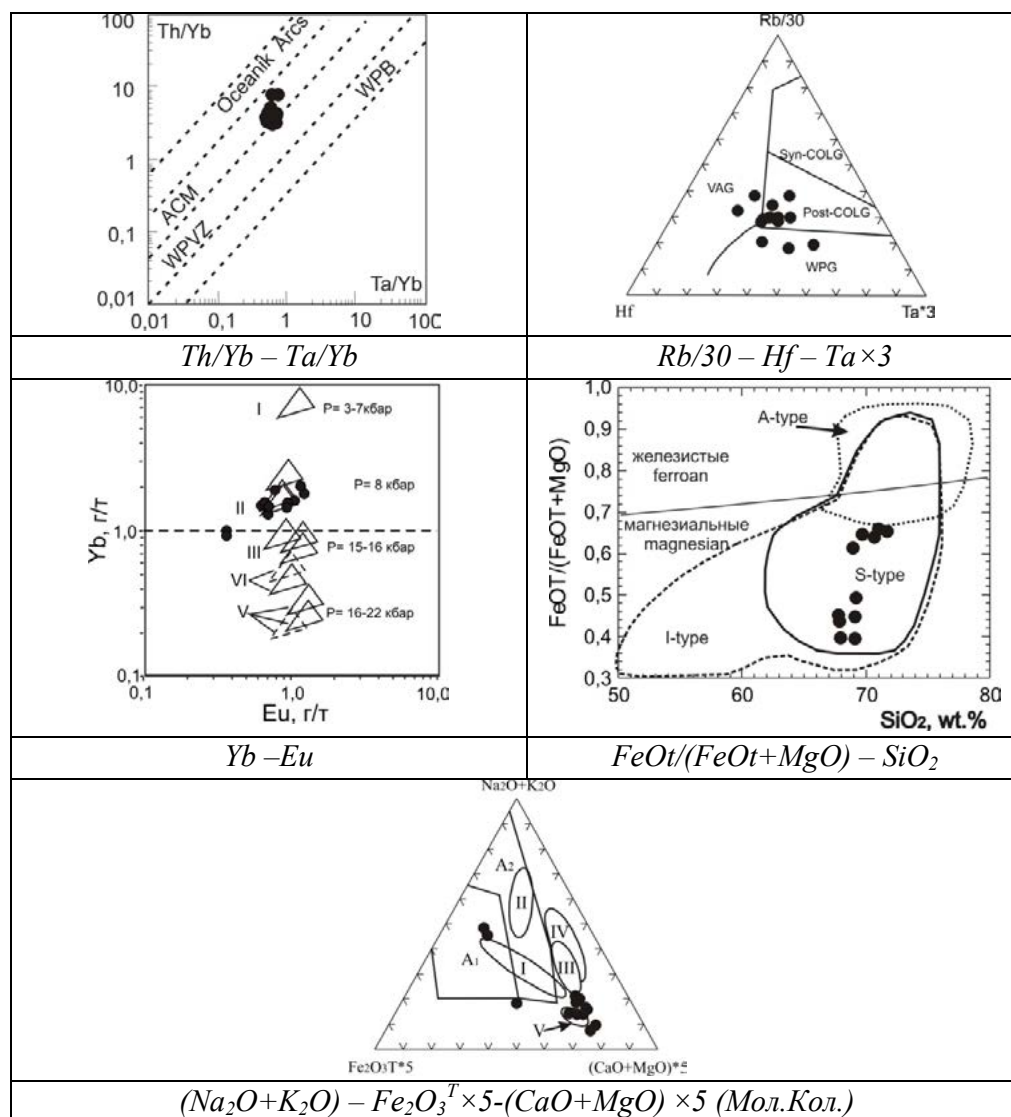


Рис. 3. На диаграмме Th/Yb – Ta/Yb показаны обстановки развития: океанических дуг (Oceanic arcs), активных континентальных окраин (ACM), внутриплитных вулканических зон (WPVZ), внутриплитных базальтов (WPB).

На диаграмме Rb/30 – Hf – Ta*3 показаны обстановки развития: гранитов вулканических дуг (VAG), гранитов синколлизионных (syn-COLG), гранитов постколлизионных (post-COLG), гранитов внутриплитных (WPG).

На диаграмме Yb – (Yb – Eu): P – давление в кбар.

На диаграмме (Na₂O+K₂O) – Fe₂O₃^T*5 – (CaO+MgO)*5 показаны обстановки проявления: I – мантийных плюмов в условиях океанических плит; II – внутриконтинентальных рифтов; III – зон островодужного магматизма; IV – зон магматизма активных континентальных окраин; V – задугового спрединга /

Fig. 3. Rock compositions on discrimination and petrogenetic diagrams. On Th/Yb – Ta/Yb: Oceanic arcs – oceanic arcs; ACM – active continental margins; WPVZ – intraplate volcanic zones; WPB – intraplate basalts. On Rb/30 – Hf – Ta*3: VAG granites of volcanic arcs; syn-COLG – syncollisional granites; post-COLG – post-collision granites; WPG – intraplate granites. On Yb – (Yb – Eu): P – pressure in kbar. On (Na₂O+K₂O) – Fe₂O₃^T*5 – (CaO+MgO)*5: I – mantle plume manifestation environments under oceanic plate conditions; II – environments of intracontinental rifts; III – zones of island-arc magmatism; IV – zones of magmatism of active continental margins; V – back-arc spreading environments

Таблица 1 / Table 1

**Результаты РФА и ICP-MS анализов пород (оксиды в вес. %, элементы в г/т)
/ Results of XRF and ICP-MS analyzes of rocks (oxides in wt.%, elements in g/t)**

Номер образца / Sample number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	62,79	71,65	71,86	70,72	64,09	53,01	59,96	69,52	69,73	62,26	62,26	58,35
TiO ₂	0,58	0,35	0,34	0,65	0,78	0,65	0,84	0,45	0,44	0,68	0,72	0,70
Al ₂ O ₃	16,23	13,78	13,86	13,86	19,20	19,00	18,22	14,9	14,97	16,06	16,89	14,23
Fe ₂ O ₃	3,91	2,70	2,56	3,34	3,52	4,72	4,97	2,49	2,91	4,43	5,97	5,32
MnO	0,07	0,06	0,05	0,14	0,06	0,09	0,07	0,05	0,06	0,09	0,07	0,09
MgO	1,71	1,04	1,05	1,49	1,54	3,02	4,00	2,38	2,95	2,58	2,18	3,92
CaO	3,63	2,43	2,28	3,14	3,30	5,35	5,99	0,27	0,32	3,54	1,76	6,25
Na ₂ O	4,27	4,26	4,45	3,82	5,58	7,41	4,44	5,07	4,75	4,61	4,41	3,68
K ₂ O	1,75	2,55	2,57	2,41	1,49	0,62	1,10	2,29	1,15	1,44	2,00	0,90
P ₂ O ₅	0,19	0,11	0,10	0,22	0,26	0,16	0,21	0,09	0,10	0,16	0,16	0,24
ппп	4,60	0,92	0,73	-	-	5,79	-	2,29	2,49	3,92	3,19	6,11
Сумма / Sum	99,73	99,85	99,85	99,79	99,82	99,82	99,8	99,8	99,87	99,77	99,61	99,79
Cr	41	27	26	50	41	58	94	62	62	36	40	37
V	73	37	35	87	103	72	102	60	75	85	85	69
Co	12	4,5	5,3	6	8	17	12	7	3,7	13	14	8
Ni	27	14	13	21	22	41	36	10	9	12	12	14
Cu	27	6	5,7	4,7	7,0	11	25	4,0	2,6	5,0	7,6	14
Zn	53	48	34	34	35	55	72	46	62	41	49	55
Pb	15	18	11	7,8	5,1	2,5	30	4,2	5,4	15	6,9	22
Rb	85	90	85	71	67	29	41	93	65	67	91	35
Sr	249	185	180	240	455	564	384	80	70	280	281	315
Ba	212	334	443	756	260	205	341	376	117	296	484	273
Nb	16	12	12	11	14	12	13	12	4	9	12	8
Zr	150	132	116	145	200	189	171	139	145	169	187	151
Y	20	17	16	16	26	27	25	14	17	19	21	18
Li	14	15	10	5,2	5,1	56	72	12	17	9,6	11	23
Be	1,6	1,5	1,6	3,1	2,1	1,1	1,4	1,4	1,7	1,5	1,8	1,2
Sc	-	3,8	4,2	20	8,9	19	27	10,2	14,7	16	17	17
Ti	3320	1944	1904	3815	4567	3614	4191	2357	2249	3513	3664	3737
Mo	0,59	0,52	0,68	0,45	2,2	0,14	0,18	2,7	0,76	1,0	1,3	0,45
Ag	0,40	-	-	0,53	2,5	0,91	0,79	1,4	0,68	0,61	0,62	0,66
Cd	0,14	0,03	0,02	0,21	0,18	0,40	0,43	0,20	0,33	0,15	0,27	0,21
Cs	2,7	1,8	1,3	0,67	0,86	0,6	1,8	1,0	1,2	2,1	3,2	1,0
La	24	21	23	15	19	18	20	8,4	8,4	11	12	18
Ce	42	39	45	33	42	41	42	18	18	22	26	41
Pr	5,9	4,1	4,5	3,8	4,9	4,8	4,7	2,0	1,8	2,9	3,3	4,7
Nd	23	14,3	15,1	15	20	20	19	8	7,2	12	14	19
Sm	4,0	2,5	2,5	3,1	4,0	4,2	3,7	1,6	1,6	2,5	2,7	3,4
Eu	1,0	0,61	0,64	0,91	1,1	0,76	1,1	0,35	0,38	0,70	0,72	0,93
Gd	3,1	2,2	2,3	2,6	3,7	3,8	3,3	1,5	1,4	2,3	2,4	2,9
Tb	0,50	0,32	0,33	0,47	0,68	0,67	0,62	0,27	0,26	0,40	0,43	0,51
Dy	2,8	2,0	2,1	2,7	3,8	3,9	3,7	1,6	1,6	2,6	2,5	2,8
Ho	0,58	0,41	0,43	0,57	0,75	0,81	0,75	0,35	0,36	0,50	0,55	0,57
Er	1,4	1,24	1,3	1,4	1,8	2,1	1,9	0,9	0,9	1,3	1,4	1,3
Tm	0,23	0,19	0,19	0,23	0,31	0,30	0,29	0,14	0,14	0,21	0,22	0,22
Yb	1,5	1,37	1,43	1,4	1,8	2,0	2,0	1,0	0,9	1,3	1,4	1,4
Lu	0,24	0,20	0,21	0,23	0,27	0,32	0,33	0,15	0,15	0,21	0,21	0,23
Hf	2,0	2,9	2,8	2,2	2,1	4,4	3,9	3,1	3,1	2,6	3,0	2,9
Ta	0,87	1	0,82	0,92	1,4	1,1	1,0	0,64	0,46	0,89	0,92	0,76
W	0,86	1,23	1,54	2,9	3,0	1,6	1,2	2,9	2,4	1,8	1,8	1,1
Bi	0,12	0,02	0,02	0,35	0,65	0,05	0,17	0,33	0,12	0,50	0,25	0,31
Th	7,7	10,2	11,1	5,6	6,9	9,1	7,2	2,9	2,9	3,9	4,5	4,4
U	1,8	2,2	2,9	1,7	2,1	2,7	2,0	1,1	1,1	1,2	1,5	1,5

Номер образца: 1, 7, 10, 11, 12 – андезиты; 4 – риодацит; 5 – дацит; 6 – трахиан-дезизбазальт; 2, 3, 8, 9 – граниты. / Sample number: Notice: 1, 7, 10, 11, 12 – andesites; 4 – rhyodacite; 5 – dacite; 6 – trachyandesitebasalt; 2, 3, 8, 9 – granites.

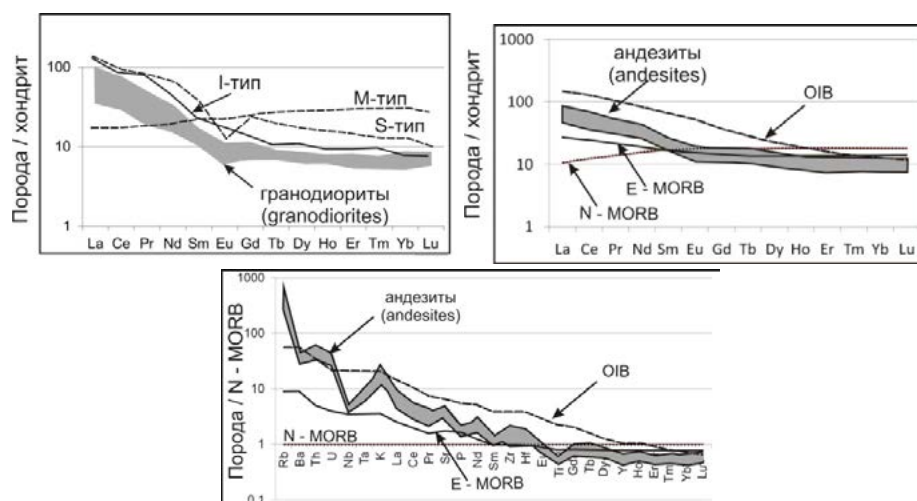


Рис. 4. Спайдер диаграммы, на которых показаны составы изученных пород: концентрации REE нормированы к хондриту; концентрации несовместимых элементов нормированы по N-MORB (по [San, McDonough, 1989]) /

Fig. 4. Compositions of rocks on spider diagrams. Concentrations of incompatible elements normalized to N-MORB, REE concentrations normalized to chondrite according to [San, McDonough, 1989].

Сравнение кларковых концентраций ($K_k > 1$) элементов для андезитов СС $Pb_{1,9}$ $Cd_{1,8}$ $Bi_{1,5}$ $W_{1,4}$ $Zr_{1,3}$ $Li_{1,1}$ $Be_{1,1}$ $Cs_{1,1}$ ($Zn_{0,8}$ $Mo_{0,7}$) и для гранитоидов ЦК $Cr_{1,8}$ ($Zn_{0,8}$ $Zr_{0,8}$ $Pb_{0,5}$) с эталонами пород разных геодинамических обстановок (по [Гусев и др., 1999]) свидетельствует, что они вполне сопоставимы с породами краевых вулканоплутонических поясов АКО и зрелых островных дуг.

Обсуждение результатов. В позднем триасе-геттанге субдукция в области Понтиды – Родопы – Странжа усилилась. Севернее зоны субдукции это привело к орогеническим деформациям в задуговой области и сжатию региона по андийскому типу. В результате орогенических событий Сванетский бассейн БК полностью закрылся, а континентальные блоки Восточных Понтид и Закавказья аккрецировались к южному окончанию Скифской платформы (СП). После завершения поздне триасовой аккреции континентальных террейнов, южнее них возникла новая зона субдукции. В синемюр – ааленское время (J_1) скорость развития субдукции уменьшилась. Это привело к проявлению главной фазы задугового растяжения. В результате, в задуговой обстановке (в области Скифско-Кавказско-Понтидского региона) возникла система рифтовых бассейнов растяжения, включая трог БК [Tikhomirov et al., 2004; Никишин и др., 2005; Grebennikov, 2014; Chalot-Plat et al., 2007]. Изученные раннекиммерийские вулканические и интрузивные породы приурочены к южному окончанию СП. Они представлены нормально щелочными и, реже, умеренно щелочными породами. Эффузивы СС – это умеренно титанистые, высоко и умеренно магнезиальные ($Mg^\# 0,4–0,7$) образования. Изучение мультиэлементных и REE спектров показало, что они близки к базальтам E-MORB типа, но отличаются от последних повышенным содержанием LILE и LREE. Гранитоиды ЦК – это постколлизийные образования, возникшие в результате дегидратационного плавления исходных пород при давлениях около 8 кбар, что соответствует глубине 24–28 км. Они имеют преимущественно признаки гранитов I-type с некоторыми «отклонениями» в сторону гранитов M- и S-type. Известно, что формирование гранитов I-type может быть результатом плавления коровых магматических

пород (от основного до среднего-кислого составов) или дифференциации более мафических расплавов (что характерно для субдукционных обстановок). Степень обеднения $TREE$, Y и La^{II}/Yb^{III} определяется наличием граната и/или роговой обманки в рестите, что зависит от давления. Смена без-гранатовых и гранат-содержащих реститов для мафических субстратов происходит при $P \geq 10$ кбар, для диорит-тоналитовых – при P 8–10 кбар. Содержание K_2O , Th и Rb определяется степенью плавления и составом источника [Туркина, 2014; Watkins et al., 2007]. Можно отметить, что изученные породы несут в себе «смешанные» петро–геохимические характеристики, что указывает на гетерогенную природу магмогенерирующих источников, одним из которых, возможно, были нижнекоровые диорит-тоналитовые образования фундамента СП, другим источником – мантийные резервуары с E -MORB подобными характеристиками вещества. Интересной особенностью пород ЦК является их высокая флюидонасыщенность. На это указывает присутствие в породообразующих минералах первичных газово–жидких включений [Цветков, 1977]. Отметим, что часто подобными признаками обладают рудоносные интрузии [Рейф, 1990]. С раннекиммерийскими вулканическими и интрузивными породами пространственно ассоциируют месторождения (Садон, Згид, Холст, Архонское, Джимидон, Фаснал и др.) и многочисленные рудопроявления. Полиметаллические месторождения Северной Осетии, имеющие свои индивидуальные особенности, располагаются вблизи крупных региональных разломов, а к разрывам второго и третьего порядков приурочены дайки, штоки, рудные зоны и жилы. Рудные тела залегают в палеозойских гранитах и киммерийских кварцевых порфирах (с последними большинством исследователей принята генетическая связь). Глубина формирования рудных тел 2–2,5 км. Температура образования руд, по результатам декрипитации и гомогенизации газово-жидких включений в минералах, варьирует в пределах от 340°C до 190°C [Родзянко и др., 1971]. На основании проведенного на масс-спектрометре Сектор 54 (Великобритания) в Лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН (сн.с. к.г.-м.н. Голубевым В.Н.) изотопного анализа состава свинца в галенитах ($^{206}Pb/^{204}Pb$; $^{207}Pb/^{204}Pb$; $^{208}Pb/^{204}Pb$; $^{208}Pb/^{206}Pb$; $^{207}Pb/^{206}Pb$), были рассчитаны модельные возраста свинца галенитов из следующих месторождений и рудопроявлений: Джимидон 250, 292, 391 млн лет; Архон 391 млн лет; Вехний Згид 269 млн лет; Инжинта 241, 262 млн лет; Арсиком 308 млн лет [Гурбанов и др., 2017]. Полученные модельные возраста позволяют условно выделить следующие пять возрастных (в млн лет) групп: 391, 287–308, 257–269, 241–250 и 197. Важно отметить, что по величине μ_2 ($^{204}Pb/^{238}U$) на Джимидонском месторождении намечается два разных источника, модельные возраста которых соответствуют пермо-триасу и позднему карбону. Необходимо учитывать, что модельный Pb-Pb возраст обычно имеет грубый оценочный характер. При анализе полученных данных установлена однородность изотопного состава свинца на различных участках Джимидонского месторождения, что присуще рудам крупных месторождений, в формировании которых участвовал свинец главным образом из одного источника. В целом же, в галенитах из рудопроявлений Арсиком, Инжинта, Кариухох, Урсдон и др. была установлена неоднородность изотопного состава свинца, что свидетельствует о его различных источниках и щлиховые ореолы Au [Газеев и др., 2021]. Оруденение связанное с вулканиками. Также отметим, что с юрскими вулканиками СП, в Черек-Чегемском вулканическом районе (ВР) ассоциирует полиметаллическое с Au-Ag месторождение Радужное и ряд мелких рудопроявлений. В Карачаевском ВР известны рудопроявления в районе перевала Гумбаши с Au-Ag-кварц-сульфидным оруденением. В Гойско-Ачишгинской складчатой зоне

на Западном Кавказе известны жилы и зоны дробления с полиметаллами залегающими в осадочных разрезах расположено вблизи контактов субвулканических тел и зон их метасоматических (пропилитизация, аргиллизация) изменений, Это оруденение трудно объяснить особенностями кристаллизации незначительных по объему субвулканических тел и, по-видимому, оно образовалось на постмагматической стадии в период остывания субвулканических тел в результате их взаимодействия с захороненными седиментационными (вадозными) водами, с выщелачиванием рудных компонентов из терригенной черносланцевой толщи. Эти данные подтверждают представления о мобилизации Pb, Zn и благородных металлов из более древних источников [Черницын, 1977; Богуш и др., 2020]. Широкое развитие ранне-среднеюрских вулканоплутонических образований на южной окраине СП, близость их петро-геохимических показателей и невысокий уровень эрозии (до 1.5-1.7 км, а глубина формирования рудных тел 2-2,5 км) позволяют говорить о перспективности региона на открытие новых месторождений – как в палеозойском фундаменте (с жильным кварц-полиметаллическим оруденением), так и в осадочном чехле (с Au-Ag-полиметаллическим и Au-Ag-кварц-сульфидным оруденением).

Выводы

Изучены петро-химические и геохимические особенности раннекиммерийских вулканоплутонических образований Садонского Pb-Zn-Cu рудного района и Штулу-Харезской рудной зоны Северной Осетии. Показано, что эти образования формировались на активной континентальной окраине СП в постколлизийной обстановке на начальном этапе задугового спрединга. Предполагается, что исходные расплавы этих пород были образованы за счет плавления нижнекоровых, палеозойских диорит-тоналитовых образований фундамента СП, происходившего при участии мантийных расплавов с *E-MORB*-подобными характеристиками. Отмечено, что гранитоиды характеризуются высокой флюидонасыщенностью, а все породы (эффузивы и гранитоиды) по геохимическим критериям, близки к раннеюрским и ааленским магматитам, распространенным на южной окраине СП.

Высказано предположение о перспективности региона на обнаружение в нем новых полиметаллических, золото-серебро-полиметаллических и золото-серебряных месторождений, еще не вскрытых современной эрозией.

Литература

1. Богуш И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И. Генезис и рудоносные структуры Чучкурского месторождения благородных металлов Северного Кавказа. // Геология и геофизика юга России. – 2020. – Т. 10. №1. – С. 81–95. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59067
2. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Кондрашов И.А. Среднеюрские вулканы Гойтхско-Ачишхинской складчатой зоны Северо-Западного Кавказа: геохимия, геодинамическая типизация и минералогия. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 17–32. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.84.002
3. Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Докучаев А.Я., Гольцман Ю.В., Олейникова Т.И., Гурбанова О.А. Палеогеодинамические реконструкции и минералогия раннеюрского базальт-гипербазитового фиагдонского комплекса (Республика Северная Осетия-Алания, Кавказ, РФ) по петрохимическим, геохимическим и изотопным данным. // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №4. – С. 22–38.
4. Гусев Г.С., Кудрявцев Ю.К., Гущин А.В., Суринов Т.Н., Бескин С.М., Донец А.И., Ермолаев А.Н., Жабин А.Г., Куриленко Н.М., Онтеева Т.Д., Ширай Е.П. Геохимическая и ме-

таллогеническая специализация структурно–вещественных комплексов. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. – 514 с.

5. Наумов В.Б., Коваленко В.И., Дорофеева В.А. Гирнис А.В., Ярмолюк В.В. Средний состав магматических расплавов главных геодинамических обстановок по данным изучения расплавных включений в минералах и закалочных стекол пород. // Геохимия. – 2010. – Т. 48(12). – С. 1266–1288.

6. Никишин А.М., Фокин П.Л., Тихомиров Е.Ю. и др. 400 миллионов лет геологической истории южной части Восточной Европы. – М.: ГЕОКАРТ ГЕОС, 2005. – 351 с.

7. Письменный А.Н., Горбачев С.А., Вертий С.Н., Зарубина М.А., Пичужков А.Н., Письменная Н.С., Терещенко В.В., Терещенко Л.А. Государственная геологическая карта РФ. К-38 IX, XV. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. – 277 с.

8. Рейф Ф.Г. Рудообразующий потенциал гранитов и условия его реализации. – М.: Наука, 1990. – 166 с.

9. Родзянко Н.Г., Джумайло В.И., Савин С.В., Сафаров Ю.А., Петросьянц О.С. Жамгоцев О.С., Баранов Г.И. Геология и геохимия Центральной части Северного Кавказа (эндогенные месторождения). – Ростов-на-Дону: Изд. Ростовского ун-та, 1971. – 189 с.

10. Туркина О.М. Модельные геохимические типы тоналит-грондьемитовых расплавов и их природные эквиваленты. // Геохимия. – 2000. – №7. – С. 704–717.

11. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.

12. Цветков А.А. Мезозойский магматизм центральной части Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 166 с.

13. Черницын В.Б. Металлогения Большого Кавказа. – М.: Недра, 1977. – 191 с.

14. Chalot-Prat F., Tikhomirov P., Saintot A. Late Devonian and Triassic basalts from southern continental margin of the East European Platform, tracers of a single heterogeneous lithospheric mantle source. // Journal of Earth System Science. – 2007. – Vol. 116. Issue 6. – pp.469–495

15. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. A geochemical classification for granitic rocks. // J. Petrol. – 2001. – Vol. 42. – pp. 2033–2048.

16. Gorton M.P., Schandl E.S. From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. // The Canadian Mineralogist. – 2000. – Vol. 38. – pp. 1065–1073.

17. Grebennikov A.V. A-type granites and related rocks: petrogenesis and classification. // Russian Geology and Geophysics. – 2014. – Vol. 55. No.9. – pp. 1074–1086. DOI: 10.1016/j.rgg.2014.08.003.

18. Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. // Coward M.P., Ries A.C. (Eds). Collisions. Geol. Soc. Spec. Pub. – 1986. – Vol. 19. – pp. 67–81.

19. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. // Geol. Spec. Publ. – 1989. – No.42. – pp. 313–345.

20. Tikhomirov P.L., Chalot-Prat F., Nazarevich B.P. Triassic volcanism in the Eastern Fore-Caucasus: evolution and geodynamic interpretation. // Tectonophysics. – 2004. – No.381. – pp. 119–142.

21. Watkins J. M., Clemens J.D., Treloar P.J. Archaean TTGs as sources of younger granitic magmas: melting of sodic metatonalites at 0.6–1.2 GPa. // Contrib. Mineral. Petrol. – 2007. – Vol. 154. – pp. 91–110.

References

1. Bogush I.A., Ryabov G.V., Cherkashin V.I. Genesis and ore-bearing structures of the Chukhur noble metals deposits of the North Caucasus. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2020. Vol. 10. No. 1. pp. 81–95. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59067

2. Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Kondrashov I.A. Middle-Jurassic volcanites of the Goitkhs-ko-Achishkinsk folded zone of North-Western Caucasus: geochemistry, geodynamical typifica-

tion and minerageny. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2021. Vol. 11. No.3. pp. 17–32. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.84.002

3. Gurbanov A.G., Gazeev V.M., Leksin A.B., Dokuchaev A.Ya., Goltsman Yu.V., Oleinikova T.I., Gurbanova O.A. Paleogeodynamic reconstructions and minerageny of the Early Jurassic basalt-hyperbasite Fiagdon complex (Republic of North Ossetia-Alania, Caucasus, RF) based on petrochemical, geochemical and isotopic data. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2017. No. 4. pp. 22–38.

4. Gusev G.S., Kudryavtsev Yu.K., Gushchin A.V., Surin T.N., Beskin S.M., et al. Geochemical and metallogenic specialization of structural-material complexes. Saint Petersburg, VSEGEI, 1999. 514 p. (In Russ.)

5. Naumov V.B., Kovalenko V.I., Dorofeeva V.A. Giris A.V., Yarmolyuk V.V. The average composition of magmatic melts of the main geodynamic settings according to the study of melt inclusions in minerals and quench glasses of rocks. *Geochemistry*. 2010. Vol. 48. Issue 12. pp. 1266–1288. (In Russ.)

6. Nikishin A.M., Fokin P.L., Tikhomirov E.Yu. et al. 400 million years of geological history of the southern part of Eastern Europe. Moscow. GEOKART GEOS, 2005. 351 p. (In Russ.)

7. Pismenny A.N., Gorbachev S.A., Vertiy S.N., Zarubina M.A., Pichuzhkov A.N., et al. State geological map of the Russian Federation. K-38 IX, XV. Saint Petersburg, VSEGEI, 2006. 277 p. (In Russ.)

8. Reif F.G. Ore-forming potential of granites and conditions for its implementation. Moscow. Nauka, 1990. 166 p. (In Russ.)

9. Rodzianko N.G., Dzhumaylo V.I., Savin S.V., Safarov Yu.A., Petrosyants O.S. et al. *Geology and geochemistry of the Central part of the North Caucasus (endogenous deposits)*. Rostov-on-Don, Rostov University. 1971. 189 p. (In Russ.)

10. Turkina O.M. Model geochemical types of tonalite-trondhjemite melts and their natural equivalents. *Geochemistry*. 2000. No. 7. pp. 704–717. (In Russ.)

11. Turkina O.M. Lectures on the geochemistry of magmatic and metamorphic processes. Novosibirsk, NSU Research Center, 2014. 118 p. (In Russ.)

12. Tsvetkov A.A. Mesozoic magmatism in the central part of the North Caucasus. Moscow. Nauka, 1977. 166 p. (In Russ.)

13. Chernitsyn V.B. Metallogeny of the Greater Caucasus. Moscow, Nedra. 1977. 191 p. (In Russ.)

14. Chalot-Prat F., Tikhomirov P., Saintot A. Late Devonian and Triassic basalts from southern continental margin of the East European Platform, tracers of a single heterogeneous lithospheric mantle source. *Journal of Earth System Science*, 2007. Vol. 116. Issue 6. pp. 469–495.

15. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. A geochemical classification for granitic rocks. *J. Petrol.* 2001. Vol. 42. pp. 2033–2048.

16. Gorton M.P., Schandl E.S. From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. *The Canadian Mineralogist*. 2000. Vol. 38. pp. 1065–1073.

17. Grebennikov A.V. A-type granites and related rocks: petrogenesis and classification. *Russian Geology and Geophysics*. 2014. Vol. 55. No. 9. pp. 1074–1086. DOI: 10.1016/j.rgg.2014.08.003.

18. Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. Coward M.P., Ries A.C. (Eds). *Collisions. Geol. Soc. Spec. Pub.* 1986. Vol. 19. pp. 67–81.

19. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. *Geol. Spec. Publ.* 1989. No. 42. pp. 313–345.

20. Tikhomirov P.L., Chalot-Prat F., Nazarevich B.P. Triassic volcanism in the Eastern Fore-Caucasus: evolution and geodynamic interpretation. *Tectonophysics*. 2004. No. 381. pp. 119–142.

21. Watkins J. M., Clemens J.D., Treloar P.J. Archaean TTGs as sources of younger granitic magmas: melting of sodic metatonalites at 0.6–1.2 GPa. *Contrib. Mineral. Petrol.* 2007. Vol. 154. pp. 91–110.