

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.323.5

DOI: [10.46698/VNC.2022.15.93.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.15.93.001)

Оригинальная статья

Раннепермские эффузивные и субвулканические образования Передового хребта Большого Кавказа (геохимическая и металлогеническая специализация пород)

В. М. Газеев^{1, 2}, А. Г. Гурбанов^{1, 2}, С. Н. Бубнов¹, В. Ю. Герасимов³

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;

³Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана, Российской академии наук, Россия, 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 18/22, e-mail: gera-igem2008@yandex.ru

Статья поступила: 12.01.2022, доработана: 17.02.2022, одобрена в печать: 25.02.2022

Резюме: Актуальность работы. В пределах южной части Скифской плиты известны районы развития раннепермских вулканоплутонических образований и ассоциирующих с ними золото-сульфидных, полиметаллических, сурьмяно-ртутных и урановых рудных объектов. Геохимические исследования этих пород необходимы для уточнения особенностей развития региона в этот временной период. **Целью исследования** является уточнение геохимических характеристик раннепермских вулканитов, расшифровка их геодинамической позиции и рассмотрение ассоциирующего с ними оруденения. Объектом для исследований выбраны эффузивные и субвулканические образования раннепермского возраста в зоне Передового хребта (ПХ) 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 в зоне ПХ в разрезах раннепермских пород распространены нормально и умеренно щелочные эффузивные и субвулканические породы. Это умеренно и низко магнетиальные, редко высоко калиевые породы известково-щелочной серии с калиево-натровым и натровым типами щелочности. Сопоставление вещественных показателей субвулканических пород с петрохимической систематикой гранитоидов показывает, что они обладают чертами как S-type так и I-type гранитов. На петрогенетической $Th/Yb - Ta/Yb$ диаграмме фигуративные точки составов изученных пород сгруппированы в поле пород активных континентальных окраин. Вулканиты обогащены LREE, LILE и характеризуются негативными Nb, Ta, Ti (P) аномалиями. Спектры REE трахиандезитов близки к профилю базальтов OIB. Все разновидности пород имеют повышенные содержания Sb и сходный профиль концентрации несовместимых элементов. Сделано предположение, что раннепермские эффузивные и субвулканические образования формировались в пределах вулканоплутонического пояса расположенного на активной континентальной окраине Скифской плиты. Раннепермская фаза магматической активизации, по-видимому, была связана с зарождавшимся здесь тыловым рифтом. Анализ вещественного состава изученных пород показал, что они имеют «смешанные» характеристики, обладая чертами магматических образований раз-

личных генетических и геохимических типов. Показано что с раннепермскими эффузивными и субвулканическими породами ассоциирует золото-сульфидное, сурьмяно-ртутное и урановое оруденение.

Ключевые слова: петрография, геохимия, геодинамическая типизация, минерагения.

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

Для цитирования: Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Бубнов С. Н., Герасимов В. Ю. Раннепермские эффузивные и субвулканические образования Передового хребта Большого Кавказа (геохимическая и металлогеническая специализация пород). *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12 (1): 6–18. DOI: 10.46698/VNC.2022.15.93.001.

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

[DOI: 10.46698/VNC.2022.15.93.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.15.93.001)

Original paper

Early Permian effusive and subvolcanic formations of the Front Range of the Greater Caucasus (geochemical and metallogenic rock specialization)

V. M. Gazeev^{1, 2}, A. G. Gurbanov^{1, 2}, S. N. Bubnov¹, V. Yu. Gerasimov³

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 of the Russian Academy of Sciences, 1 Williams str., Prigorodny district, Mikhailovskoye 363110, Russian Federation, e-mail: gazeev@igem.ru;

³Mineralogical museum named A. E. Fersman of Russian Academy of Sciences (Minmuseum RAS), 18-2 Leninsky Avenue, Moscow 119071, Russian Federation, e-mail: gera-igem2008@yandex.ru

Received: 12.01.2022, revised: 17.02.2022, accepted: 25.02.2022

Abstract: Relevance. Within the southern part of the Scythian plate, there are known areas of development of Early Permian volcano-plutonic formations and associated gold-sulfide, polymetallic, antimony-mercury and uranium ore objects. Geochemical studies of these rocks are necessary to clarify the features of the development of the region during this time period. **The aim of the study** is to clarify the geochemical characteristics of the Early Permian volcanic rocks, to decipher their geodynamic position, and to consider the mineralization associated with them. The objects for research are effusive and subvolcanic formations of Early Permian age in the area of the Peredovoi Ridge (PR) of the Greater Caucasus. **Research methods** included: petrographic description of rocks, analyzes by RFA, ICP-MS; geochemical characteristics; construction and analysis of discriminatory t diagnostic diagrams; comparison of the concentrations of ore elements in the studied and reference rocks of a similar petrochemical type formed in different geodynamic settings. **Results.** It was found that normal and moderately alkaline effusive and subvolcanic rocks are widespread in the PR zone in the sections of Early Permian rocks. These are moderate and low magnesian, rarely high potassium rocks of the calc-alkaline series with potassium-sodium and sodium types of alkalinity. Comparison of the material parameters of subvolcanic rocks with the petrochemical systematics of granitoids shows that they have features of both S-type and I-type granites.

On the Th/Yb – Ta/Yb petrogenetic diagram, figurative points of volcanic and granitoid compositions are located in the rock field of active continental margins. The volcanics are enriched in LREE, LILE and are characterized by negative Nb, Ta, Ti (P) anomalies. The REE spectra of trachyandesite basalts are close to the profile of OIB basalts. All rock varieties have elevated Sb contents and a similar concentration profile of incompatible elements. As a result, it was assumed that the Early Permian effusive and subvolcanic formations were formed within the volcano-plutonic belt on the active continental margin. The Early Permian phase of magmatic activation was apparently associated with the rear rift originating here. Analysis of the material composition of the studied rocks showed that they have “mixed” characteristics, having the features of igneous formations of various genetic and geochemical types. It is shown that gold-sulfide, antimony-mercury and uranium mineralization is associated with Early Permian effusive and subvolcanic rocks.

Keywords: petrography, geochemistry, geodynamic typification, minerageny.

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: Gazeyev V. M., Gurbanov A. G., Bubnov S. N., Gerasimov V. Yu. Early Permian effusive and subvolcanic formations of the Front Range of the Greater Caucasus (geochemical and metallogenic rock specialization). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12 (1): 6–18. DOI: 10.46698/VNC.2022.15.93.001.

Введение

Актуальность работы. На рубеже среднего и верхнего палеозоя, при сближении, скупивании и шарьировании Предкавказского и Центрально-Кавказского мегаблоков, был сформирован первичный фундамент южной окраины Скифской плиты (СП). В карбоне, в результате широкого развития процессов гранитизации произошло окончательное его оформление. Однако после непродолжительной стабилизации тектонического режима, уже в позднем карбоне и перми здесь накапливаются мощные континентальные молассы содержащие вулканиты [Никишин, 2005; Омельченко, 2021]. В связи с тем, что с раннепермскими вулканитами ассоциирует разнообразное оруденение, их изучение актуально для уточнения особенностей геодинамического развития региона и минерагии этого периода. **Целью исследования** является петролого-геохимическое изучение раннепермских вулканитов зоны Передового хребта (ПХ) Большого Кавказа (БК), их геодинамическая типизация и рассмотрение ассоциирующего с ними оруденения. **Объектом для исследования** выбраны эффузивные породы «Киньрчадской» свиты (КС) и гипабиссальные породы «Киньрчадского» комплекса (КК) распространенные в зоне ПХ БК. Наиболее полный разрез КС известен по р. Аксаут. В его нижней части залегают красноцветные песчаники и конгломераты выше которых расположены туфы и лавы кислого состава (мощность до 100 м), далее идет толща чередования туфопесчаников и лав дацитового состава (до 250 м) и лав андезитов и андезибазальтов (до 200 м). Восточнее в бассейне р. Чучкур в основании разреза КС обнажаются андезитовые порфириды (мощность до 55 м), выше которых залегают конгломераты с прослоями песчаников и лавы дацитов, андезидацитов (до 450 м). Раннепермский, сакмарско-артинский возраст пород КС определяется на основании находок отпечатков *Walchia* sp. и следов *Amphisauroides* (*Auxipex*) minor (Heyler et Lessertiseur). Гипабиссальные образования КК представлены дайками и штокообразными телами гранит- и фельзит-порфиров (рис. 1). Раннепермский возраст пород определяется с учетом прорыва ими эффузивов КС и находок их гальки в базальных слоях гималдыкской свиты (верхи ранней перми) [Семенуха и др., 2009].

Фактический материал и методы исследования

Фактическим материалом явилась коллекция образцов 2017 и 2019 гг. из объектов КС и КК (бассейны рек Аксаут и Чучкур). Аналитические работы выполнены в ЦКП «ИГЕМ-Аналитика» (рентгено-флуоресцентный метод (*XRF*) на спектрометре «Респект-100» и методом спектроскопии с индукционно – связанной плазмой (*ICP-MS*) на масс-спектрометре X-Series II). Точность анализов контролировалась российскими и международными стандартами. При построении диаграмм применялись силикатные анализы из отчетов 80-х годов XX века лаборатории петрографии ИГЕМ РАН.

Полученные результаты. Изученные субвулканические и эффузивные породы, представлены андезибазальтами, андезитами, дацитами, риодацитами, и их умеренно щелочными аналогами.

Андезибазальты, трахиандезибазальты, андезиты. Структура пород порфировая. Вкрапленники представлены плагиоклазом и реже амфиболом. Плагиоклаз (андезин, лабрадор-андезин) образует кристаллы, среди которых отмечены: ситовидные, с включениями стекла; деанортизированные и альбитизированные разновидности. Редкие кристаллы амфибола замещены и диагностируются по кристаллографическим очертаниям. Иногда встречается замещенный хлоритом пироксен,

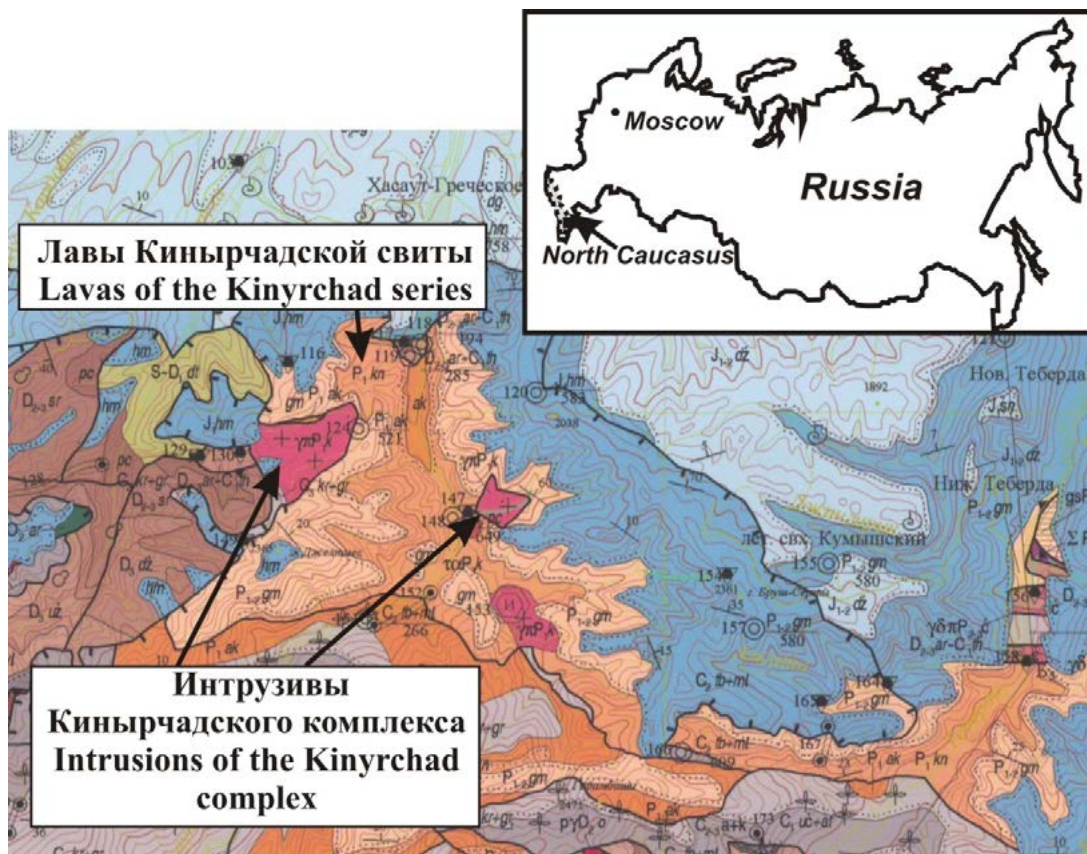


Рис. 1. Геологическая карта с раннепермскими отложениями и гипабиссальными интрузивами Киньрчатского комплекса р. Аксаут (материалы ФГУТП «Кавказгеолсъёмка» листы К-37- VI, XII 2009 г.) /

Fig. 1. Geological map with Early Permian sediments and hypabyssal intrusions of the Kinyrchatsky complex. Aksaut (based on the materials of FSUE "Kavkazgeol'smyetka" sheets K-37-VI, XII 2009)

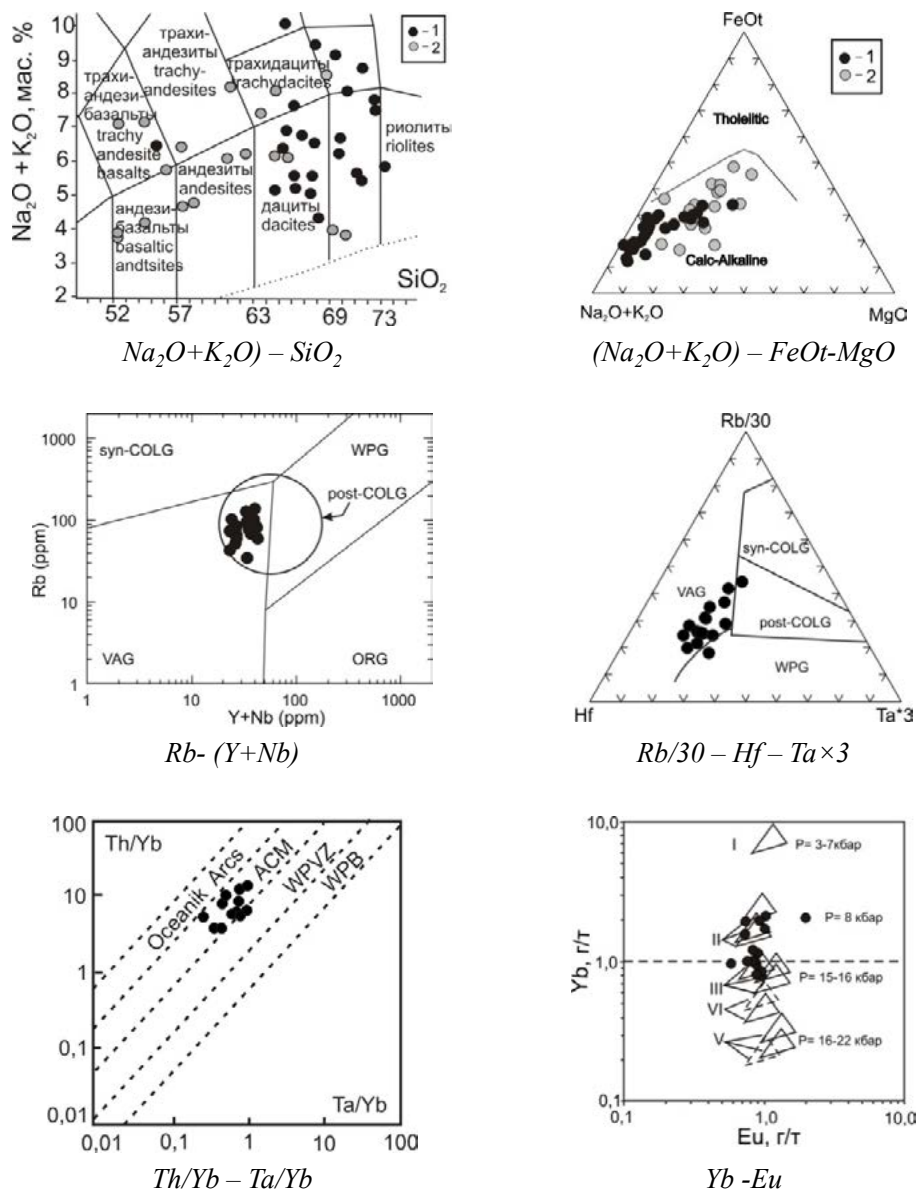


Рис. 2. Составы пород на классификационных и петрогенетических диаграммах. Условные обозначения: 1 – RFA (ЦКП «ИГЕМ-Аналитика»); 2 – силикатные анализы из тематических отчетов. На диаграмме $(Na_2O+K_2O) - FeOt-MgO$: tholeiitic – толеитовые; calc-alkaline – известково-щелочные. На диаграмме Rb- (Y+Nb): syn-COLG – синколлизийные граниты; WPG – внутриплитные граниты; post-COLG – постколлизийные граниты; VAG – граниты вулканических дуг; ORG – граниты океанических хребтов. На диаграмме Rb/30 – Hf – Ta*3: syn-COLG – синколлизийные граниты; post-COLG – постколлизийные граниты; WPG – внутриплитные граниты. На диаграмме Th/Yb – Ta/Yb: Oceanic arcs – океанические дуги; ACM – активные континентальные окраины; WPVZ – внутриплитные вулканические зоны; WPB – базальты внутриплитные. На диаграмме Yb – (Yb-Eu): P – давление в кбар /

Fig. 2. Composition of rocks on classification and petrogenetic diagrams. Legend: 1 – RFA (SCC “IGEM-Analitika”); 2 – silicate analyses from thematic reports. On the $(Na_2O+K_2O) - FeOt-MgO$ diagram: tholeiitic; calc-alkaline. On the Rb- (Y+Nb) diagram: syn-COLG – syn-collision granites; WPG – intraplate granites; post-COLG – post-collision granites; VAG – granites of volcanic arcs; ORG – granites of oceanic ridges. On the diagram Rb/30 – Hf – Ta*3: syn-COLG – syn-collision granites; post-COLG – post-collision granites; WPG – intraplate granites. On the diagram Th/Yb – Ta/Yb: Oceanic arcs; ACM – active continental margins; WPVZ – intraplate volcanic zones; WPB – intraplate basalts. On the diagram Yb – (Yb-Eu): P – pressure in kbar

а в трахиандезитах калиевый полевой шпат (КПШ). Основная масса (ОМ) сложена плагиоклазом, рудным минералом, хлоритом, карбонатом, редко сфеном, КПШ и кварцем. **Дациты, трахидациты, риодациты.** Структура пород сериально- и гломеропорфировая. Во вкрапленниках представлены плагиоклаз (олигоклаз – андезин), кварц и биотит. Иногда отмечается плагиоклаз с ситовидным ядром и реликты амфибола. ОМ состоит из кварца, плагиоклаза, рудного минерала, иногда с новообразованиями КПШ, эпидота, карбоната, серицита и халцедона. **Гранит порфиры и кварцевые диорит порфиры.** Структура пород порфировая, иногда аплитовидная. Вкрапленники представлены альбитизированным плагиоклазом, КПШ, кварцем и биотитом. В кварцевых диоритах появляется роговая обманка замещающаяся хлоритом. ОМ аллотриаморфная, кварц – полевошпат – серицитовая.

На классификационной диаграмме $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ (рис. 2) фигуративные точки (ФТ) составов пород приурочены к области нормально щелочных и, реже, умеренно щелочных пород (от андезибазальтов до риодацитов). На АФМ диаграмме они группируются вдоль трендов дифференциации пород известково-щелочных серий. На диаграммах SiO_2 – петрогенные элементы (рис. 3) отчетливо выделяется отрицательная корреляционная связь между TiO_2 , Al_2O_3 , MgO и положительная кор-

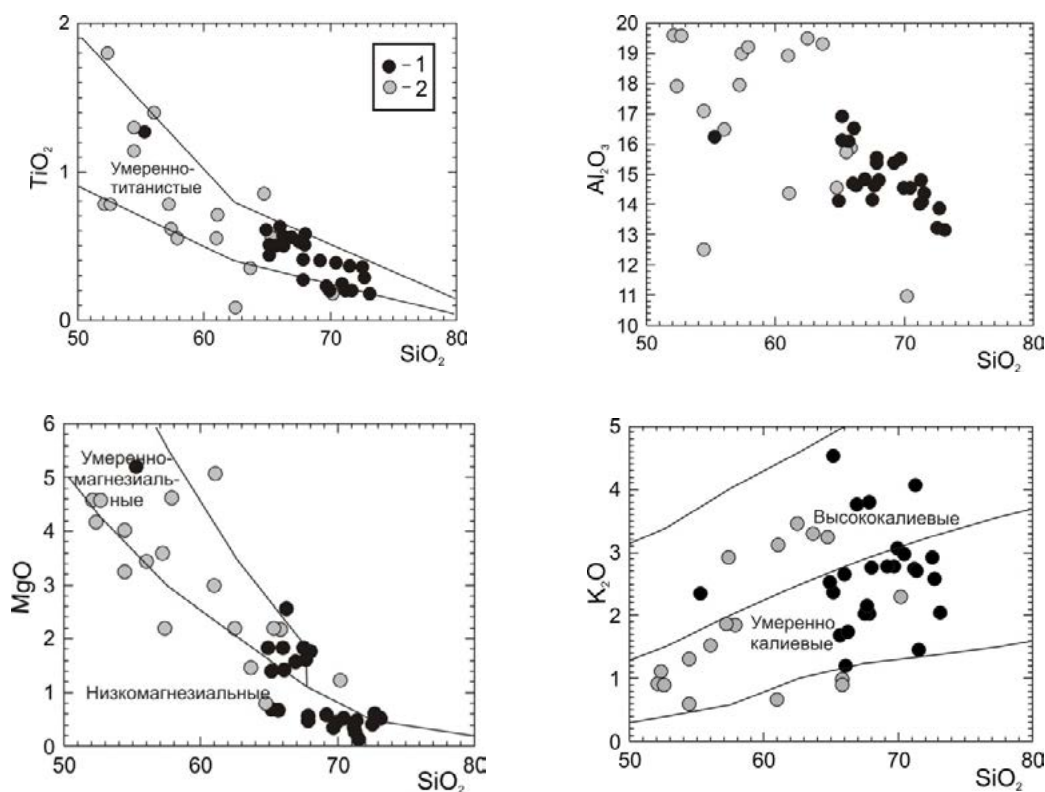


Рис. 3. Диаграммы концентраций петрогенных компонентов (в мас. %). Примечание – перевод надписей на диаграммах с русского языка на английский и наоборот: На диаграмме $TiO_2 - SiO_2$ умеренно титанистые – moderately titanium. $MgO - SiO_2$ умеренно магниальные – moderately magnesium, низкомагниальные – low-magnesium $K_2O - SiO_2$: высококалиевые – high-potassium; умереннокалиевые – moderate potassium /

Fig. 3. Diagrams of petrogenic components concentration (in weight percents). Note – translation of the inscriptions on the diagrams from Russian into English and vice versa: On the $TiO_2 - SiO_2$ diagram – moderately titanium. $MgO - SiO_2$ moderately magnesium, low-magnesium $K_2O - SiO_2$: high-potassium; moderate potassium

Таблица 1 / Table 1
Результаты RFA раннепермских пород (оксиды в весовых %; элементы в г/т)
/ RFA results for Early Permian rocks (oxides in wt%; elements in g/t)

№ Обр. / Sample number	24	27	30	32	31	29	34	33	78	87	90
SiO ₂	69,95	71,36	72,67	69,7	66,08	65,64	65,18	55,29	64,89	69,21	66,26
TiO ₂	0,2	0,21	0,29	0,23	0,53	0,5	0,51	1,27	0,61	0,4	0,57
Al ₂ O ₃	14,56	14,09	13,86	15,51	16,52	16,08	16,13	16,24	14,13	15,37	14,62
Fe ₂ O ₃	1,46	2,95	2,82	1,92	4,1	3,76	3,36	7,4	3,69	2,82	3,78
MnO	0,06	0,04	0,03	0,05	0,02	0,06	0,06	0,12	0,08	0,02	0,08
MgO	0,45	0,48	0,61	0,35	1,42	0,68	0,7	5,2	1,83	0,58	2,57
CaO	2,42	1,65	0,45	2,02	0,69	2,19	2,87	6,21	3,88	0,92	1,94
Na ₂ O	3,62	2,64	4,9	3,42	6,51	5,19	3,99	4,1	2,6	6,43	3,83
K ₂ O	3,06	2,7	2,58	2,78	1,2	1,68	2,36	2,35	2,53	2,77	1,74
P ₂ O ₅	0,1	0,09	0,1	0,12	0,14	0,12	0,19	0,6	0,13	0,1	0,11
ппп	3,93	3,69	1,51	3,78	2,64	3,97	4,54	0,9	5,52	1,16	4,21
Сумма / Sum	99,81	99,90	99,82	99,88	99,85	99,87	99,89	99,68	99,89	99,78	99,71
Cr	16	п.о./ld	12	п.о./ld	44	26	п.о./ld	163	17	12	23
V	17	п.о./ld	27	14	55	46	21	124	78	38	75
Ni	п.о./ld	п.о./ld	10	6	19	16	п.о./ld	103	п.о./ld	13	25
Cu	п.о./ld	п.о./ld	п.о./ld	п.о./ld	п.о./ld	п.о./ld	21	29	п.о./ld	15	3
Zn	48	68	55	35	66	46	58	94	42	45	59
Pb	11	14	17	12	16	<10	12	19	12	25	п. о. / ld
Rb	80	73	75	85	43	52	77	59	78	77	68
Sr	154	114	227	120	353	126	153	687	83	309	184
Ba	601	180	555	230	164	237	196	575	186	643	223
Nb	13	13	12	13	9	10	11	17	10	11	8
Zr	196	222	151	211	190	191	218	278	188	209	200
Y	12	11	11	14	14	16	14	26	25	24	29
Mg#	0,33	0,24	0,29	0,26	0,40	0,26	0,29	0,58	0,49	0,28	0,57
A/CNK	1,6	1,5	1,7	1,8	1,9	1,6	1,7	1,3	1,5	1,5	1,9

Примечание: 29, 31, 78, 90 дациты; 24, 30, 87 риодациты; 27, 32, 34 гранит порфиры; 33 трахиандезибазальт; п. о. – предел обнаружения. / Note: 29, 31, 78, 90 dacites; 24, 30, 87 rhyodacites; 27, 32, 34 granite porphyry; 33 trachyandesitebasalt; ld – limit of detection.

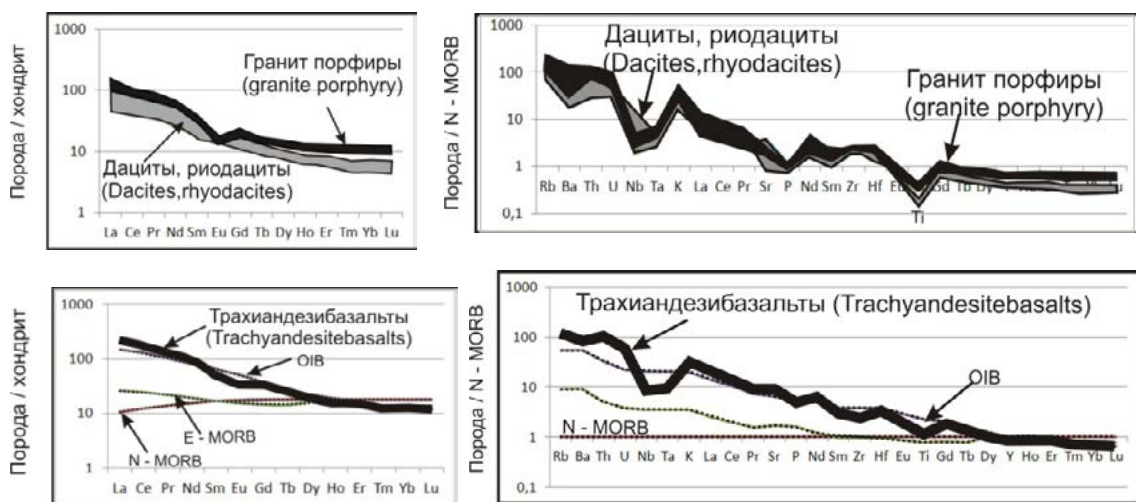


Рис. 4. Спайдер-диаграммы составов пород. Концентрации несовместимых элементов нормированы по N-MORB, концентрации REE – к хондриту по [San, McDonough, 1989] /
 Fig. 4. Compositions of rocks on spider diagrams. Concentrations of incompatible elements normalized to N-MORB, REE concentrations normalized to chondrite according to [San, McDonough, 1989]

реляционная связь между K_2O и SiO_2 . Это умеренно титанистые, умеренно и низкомагнезиальные $Mg^{\#} 0,22-0,58$, умеренно и до высококалиевых пород с калиево-натровым и реже натровым $Na_2O/K_2O 0,5-5,4$ ($\Sigma/n=1,97$) типом щелочности (табл. 1). Согласно классификации Л. В. Таусона породы КК относятся к гранитоидам андезитового ряда ($K/Rb=267$; $Ba/Rb=4,4$). На дискриминационных диаграммах (ДД) $Rb-(Y+Nb)$ [Pearce et al., 1984; Pearce, 1996], $Rb/30 - Hf - Ta \times 3$ [Harris et al., 1986.]

Таблица 2 / Table 2

Результаты ISP-MS раннепермских пород / ISP-MS results of Early Permian rocks

Элементы (в г/т) / Elements (in g/t)	Номера проб / Sample number										
	24	27	29	30	31	32	33	34	78	87	90
Be	2,08	2,01	1,09	1,62	0,90	2,16	2,9	1,78	1,85	2,13	1,68
Sc	1,69	1,83	3,50	1,88	4,41	0,69	20	1,59	7,25	4,68	6,22
Ti	1148	1246	2585	1564	2895	1138	8549	2085	3395	2183	2650
V	53,5	11,21	92,4	20,72	92,4	10,26	96	74,6	113	93,2	120
Mn	478	308	465	224	205	305	1125	464	724	237	705
Co	2,96	3,23	7,25	3,62	8,67	1,57	29	5,11	8,30	5,27	13,7
Ni	3,32	0,09	14,1	5,40	18,3	2,18	116	4,47	8,40	9,27	20,9
Cu	8,36	5,17	15,4	11,61	13,0	7,28	38	30,1	9,89	23,2	10,8
Zn	48,5	62,85	45,0	47,59	64,6	29,98	98	63,2	47,2	45,4	58,5
Ga	16,2	18,60	17,7	15,16	18,5	16,51	23	20,5	18,4	16,0	16,7
Rb	77,0	72,56	50,8	70,51	41,4	78,31	69	82,3	80,4	75,0	64,1
Sr	158	108	125	220	372	107	832	159	76,2	326	184
Y	10,3	11,21	11,1	8,89	10,6	9,93	24	10,5	19,2	18,2	19,1
Nb	8,12	10,98	4,35	7,93	5,32	7,55	19,9	6,62	8,20	8,93	5,15
Mo	0,39	0,33	0,51	0,51	0,69	0,59	2,4	0,67	0,23	0,28	0,20
Cd	0,04	0,15	0,04	0,09	0,02	0,14	0,13	0,08	0,02	0,06	0,05
Cs	2,79	4,47	2,15	2,49	1,97	2,22	1,27	3,04	4,77	1,61	8,61
Sb	3,4	-	1,92	-	1,6	-	-	0,89	3,85	1,89	19,5
Ba	492	145,4	193	481,2	111	162,2	549	184	198	579	179
La	28,3	29,91	14,2	16,47	15,3	21,25	52	18,1	28,3	23,8	9,85
Ce	54,1	57,26	29,9	30,49	29,8	42,76	107	37,4	55,5	57,2	23,7
Pr	5,64	6,49	3,31	3,38	3,24	4,50	12	4,00	6,52	6,36	3,15
Nd	19,1	22,53	12,2	11,80	12,2	15,86	45	14,7	22,5	24,2	12,4
Sm	3,56	3,88	2,56	2,13	2,31	2,76	7,8	2,78	4,32	4,48	3,22
Eu	0,98	0,91	0,86	0,57	0,74	0,77	1,99	0,93	0,95	0,81	0,73
Gd	3,27	3,30	2,48	1,99	2,21	2,47	6,7	2,53	4,02	3,93	3,42
Tb	0,39	0,44	0,38	0,3	0,31	0,35	0,92	0,40	0,63	0,63	0,55
Dy	2,07	2,34	1,90	1,70	1,80	1,91	4,8	1,97	3,29	3,11	3,12
Ho	0,38	0,44	0,39	0,31	0,36	0,35	0,87	0,36	0,71	0,62	0,64
Er	0,98	1,26	1,18	0,95	1,00	1,05	2,5	0,94	2,12	1,78	1,95
Tm	0,13	0,168	0,17	0,135	0,15	0,155	0,32	0,12	0,30	0,23	0,28
Yb	0,79	1,15	1,03	0,97	0,98	1,03	2,1	0,80	1,84	1,60	1,78
Lu	0,13	0,155	0,15	0,148	0,15	0,15	0,31	0,11	0,28	0,25	0,27
Hf	2,69	4,90	3,23	3,42	3,07	4,04	6,7	1,80	2,13	2,57	2,95
Ta	0,58	0,76	0,36	0,79	0,41	0,63	1,24	0,55	0,76	0,77	0,43
W	0,44	2,60	1,21	2,28	2,48	1,06	1,07	1,25	1,08	1,60	0,35
Pb	9,64	9,82	7,18	13,96	11,1	9,01	30	10,3	13,9	21,6	4,64
Th	8,85	9,38	3,88	5,77	3,73	5,93	12,1	4,77	13,4	16,0	9,97
U	1,81	2,53	1,69	2,51	1,60	2,17	2,8	2,07	3,11	4,0	2,43

(рис. 2) ФТ пород КС и КК сгруппированы в поле (*VAG*) – гранитов вулканических дуг. На ДД $Th/Yb - Ta/Yb$ [Pearce, 1983; Gorton, Schandl, 2000] ФТ расположены в поле *ACM* – активных континентальных окраин (АКО). Сопоставление пород КК с петро-геохимической систематикой гранитоидов показывает, что они обладают чертами как *S-type* ($A/CNK=1,6$; $Zr=211$ г/т; $Ce+Zr+Y=265$ г/т; $CaO=1,7\%$; $Nb=12$ г/т), так и *I-type* ($Rb/Sr=0,3$; $Sr=223$ г/т; $Rb/Ba=0,32$) гранитов. На ДД $Yb - Eu$ [Туркина, 2000] ФТ расположены в треугольных областях модельных составов расплавов, образованных в результате дегидратационного плавления источников *TH1*, *TH2* и *MORB* типа, при давлении от 8 до 15-16 кбар. Спектры редких земель в породах (рис. 4) нормированные к хондриту [San, McDonough, 1989] показывают повышенное содержание *REE* и их фракционирование с обогащением легкими *LREE*.

Спектр *REE* трахиандезибазальтов практически совпадает со спектром базальтов *OIB* – океанических островов и сопоставимых с ними базальтов континентальных рифтов и континентальных платобазальтов [Туркина, 2014]. La^u/Yb^u отношение в трахиандезибазальтах равно 17,7; в гранитоидах КК и лавах КС р. Аксаут оно варьирует от 8,8 до 25,9; в лавах КС р. Чучкур от 3,9 до 14,1. Соответственно: $La^u/Sm^u = 4,3$; 3,8-5,1; 1,9-4,0. $Gd^u/Yb^u = 2,6$; 1,6-3,4; 1,4-2,1. $\sum REE$ г/т=244; 70-130; 65-130. Количественный дефицит европия Eu/Eu^* ($Eu^* = (Sm_n + Gd_n)/2$) составляет в: трахиандезибазальтах 0,82; в гранитоидах и лавах р. Аксаут 0,76-1,05; в лавах р. Чучкур 0,53-0,71. Концентрации несовместимых элементов (табл. 2) в породах КС и КК нормированных к *N-MORB* свидетельствуют о существенном их обогащении *LILE* и обеднении *HREE*, также наблюдаются характерные негативные аномалии *Nb*, *Ta*, *P*, *Ti*.

Особенности геохимической специализации пород отражены следующими ранжированными рядами кларков концентрации ($K_k > 1,1$). Трахиандезибазальт $Sb_{2,1}$, $Nb_{2,8}$, $Ce_{2,6}$, $Hf_{2,2}$, $Ni_{1,9}$, $Mo_{1,8}$, $Sr_{1,8}$, $Pb_{1,8}$, $Be_{1,6}$, $Th_{1,5}$, $U_{1,4}$, $Li_{1,3}$, $Sc_{1,3}$, $Ba_{1,3}$, $Zr_{1,2}$, $Ta_{1,2}$, $Zn_{1,3}$, $Ga_{1,2}$. Гранит- и фельзит-порфиры $Sb_{1,1}$ ($Zn_{0,9}$ $Pb_{0,4}$ $Cu_{0,4}$ $Ba_{0,3}$). Дациты, риодациты $Sb_{2,0}$ $Ni_{1,1}$ ($Zn_{0,9}$ $Ba_{0,7}$ $Pb_{0,6}$ $Cu_{0,4}$). Их сравнение с петрогеохимическими типами пород разных геодинамических обстановок показывает, что трахиандезибазальты сопоставимы с породами вулкано-плутонических поясов тыловых рифтов АКО. Кислые породы сопоставимы с породами краевых вулкано-плутонических поясов АКО.

Результаты работы и их обсуждение

Зона ПХ БК, на рубеже среднего-верхнего палеозоя представляла собой покровно-складчатое сооружение, состоящее из разнообразных аллохтонных, окраинно-морских и островодужных структурно – вещественных комплексов [Омельченко, 2021; Газеев, Гурбанов, 2020]. Изученные вулканы, залегающие в раннепермской молассе, представлены нормально и умеренно щелочными эффузивами и комагматичными им субинтрузиями. Изучение мультиэлементных и *REE* спектров пород показало, что трахиандезибазальты близки к базальтам *OIB* и базальтам континентальных рифтов. Умеренная магнезиальность $Mg^{\#}=0,58$ и величины отношения *REE*: $Sm/Yb=3,1$; $La/Sm=6,6$ позволяют предполагать, что они являются производными эволюционировавшего расплава, образовавшегося при плавлении перидотитов. Кислые породы близки к модельным составам расплавов образующихся при дегидратационном плавлении источников *TH1*, *TH2*, *MORB* типа. Наличие в вулканиках кристаллов плагиоклаза с ситовидными ядрами, содержащими вклю-

чения стекла является, вероятнее всего, признаком их роста при декомпрессии и сопровождающей ее дегазации [Kuritani, 1999]. По геохимической классификации субвулканические породы КК отнесены к гранитам андезитового ряда. В соответствии с палеотектоническими реконструкциями, граниты этого типа являются составной частью палео-островных дуг; они обычно проявлены в их тыловых частях, расположенных на континентальной окраине [Туркина, 2014]. Признаки гранитов *S-type* кислых пород КС и КК указывают на возможное их образование при плавлении метаосадочных пород [Лучицкая, 2014], которое происходило при участии трахиандезитового расплава. Можно констатировать, что изученные породы несут в себе «смешанные» петро-геохимические характеристики. Это, скорее всего, указывает на гетерогенную природу их магмагенерирующих источников. Одними из них, несомненно, являлись коровые континентальные образования варисцийского основания зоны ПХ БК, другие – мантийные резервуары с *OIB* и возможно *MORB*-подобными характеристиками вещества. Отметим, что подобные петро-геохимические особенности пород известны: в ряде неоген-четвертичных магматических ассоциаций Кавказа [Лебедев и др., 2009; Бубнов и др., 2016]; в четвертичных вулканитах южной части Срединного хребта Камчатки [Волынец и др., 2018]; в среднемиоценовых вулканитах грабена Симане о-ва Хонсю [Miyake, 1994; Федоров, 2006] и др.

Раннепермские вулканиты характеризуются повышенными содержаниями сурьмы (*Kk Sb 11-21*), и с ними ассоциируют различные рудопроявления и месторождения. В долине р. Кышкыт (правый приток р. Аксаут) вещественный состав руд ряда рудопоявлений представлен киноварью, метацинобаритом, пиритом, галенитом, халькопиритом, блеклыми рудами, реальгаром, аурипигментом. Здесь же отмечены проявления урана и золота. [Родзянко и др., 1971]. В бассейне р. Чучкур (левый приток р. Худес) в метасоматических породах развитых в эффузивах КС, известно «Чучкурское» золото-сульфидное месторождение. В составе рудных минералов установлены: пирит, арсенопирит, золото, серебро, блеклые руды, сфалерит, халькопирит и галенит [Богуш, 1995]. Предполагается, что повышенное содержание благородных металлов Чучкурского месторождения [Богуш и др., 2020] связано с флюидоактивной зоной пермского палеовулкана и обусловлено мобилизацией *Au, Pt, Pd* из девонской черносланцевой толщи.

Выводы

Изучены петрохимические и геохимические особенности раннепермских эффузивных и субинтрузивных образований ПХ БК. На основании анализа дискриминационных и спайдер-диаграмм показано, что вулканиты следует считать сложными образованиями, геохимические характеристики которых несут признаки как надсубдукционной (краевой вулcano-плутонический пояс на СП), так и тыловой рифтовой обстановки. Установлено, что изученные субвулканические образования имеют «смешанные» геохимические характеристики, обладая чертами как *S-type* так и *I-type* гранитов. Полученные данные по вещественному составу изученных пород указывают на их гетерогенную природу при участии в их генезисе как коровых, так и мантийных источников вещества. Отмечено, что для раннепермских вулканитов характерны повышенные концентрации сурьмы и с ними ассоциирует золото – сульфидное, сурьмяно-ртутное и урановое оруденение.

Литература

1. Богуш И. Я. Золотоносные березиты на Северном Кавказе. // Доклады АН РФ. – 1995. – Т. 342. № 2. – С. 205-208.
2. 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.
3. Бубнов С. Н., Докучаев А. Я., Курчавов А. М. и др. Плиоценовые игнимбриты Большого Кавказа: вещественный состав и источники расплавов. // Науки о Земле. – 2016. – Вып. 2. – С. 12-51.
4. Волынец А. О., Певзнер М. М., Толстых М. Л. и др. Вулканизм южной части Срединного хребта Камчатки в неоген-четвертичное время. // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59. № 12. – С. 1979-1996.
5. Газеев В. М., Гурбанов А. Г. Раннепалеозойские габброиды архызского интрузивного комплекса (Северный Кавказ): геодинамическая типизация и минерогения. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. № 3. – С. 6-22.
6. Гусев Г. С., Кудрявцев Ю. К., Гущин А. В. и др. Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. – 514 с.
7. Лебедев В. А., Бубнов С. Н., Чернышев И. В. и др. Геохронология и петрогенезис молодых (плиоценовых) гранитоидов Большого Кавказа: Джимарский полифазный массив, Казбекская неовулканическая область. // Геохимия. – 2009. – № 6. – С. 582-602.
8. Лучицкая М. В. Гранитоидный магматизм и становление континентальной коры северного обрамления Тихого океана в мезозое-кайнозое. – М.: ГЕОС, 2014. – 360 с.
9. 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.
10. Омельченко В. Л. Офиолиты Северного Кавказа и некоторые проблемы геологии его древних комплексов. – Ессентуки, 2021. – 167 с.
11. Родзянко Н. Г., Джумайло В. И., Савин С. В., и др. Геология и геохимия Центральной части Северного Кавказа (Эндогенные месторождения). – РнД.: Изд. Ростовского ун-та, 1971. – 204 с.
12. Семенуха И. Н., Черных В. И., Соколов М. Г., и др. Объяснительная записка, листы К-37-VI, К-37-XII (Карачаевск), серия кавказская, второе издание. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – 204 с.
13. Туркина О. М. Модельные геохимические типы тоналит-трондьемитовых расплавов и их природные эквиваленты. // Геохимия. – 2000. – № 7. – С. 704-717.
14. Туркина О. М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.
15. Федоров П. И. Кайнозойский вулканизм в зонах растяжения на восточной окраине Азии. // Тр. ГИН РАН. – 2006. – Вып. 537. – 316 с.
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. 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.
18. Kuritani T. Phenocryst crystallization during ascent of alkali basalt magma at Rishiri Volcano, Northern Japan. // J. Volcanol. Geotherm. Res. – 1999. – Vol. 88. No. 1-2. – pp. 77-97.
19. Miyake Y. Geochemistry of igneous rocks of Shimane peninsula, formed within a Miocene back-arc rifting zone at the Japan sea margin. // Geochem. J. – 1994. – Vol. 28. – pp. 451-472.
20. Pearce J. A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. // Continental basalts and mantle xenoliths. / Eds. C. J. Hawkesworth, M. J. Norry. Shiva Press, Nantwich, U. K. – 1983. – pp. 230-249.

21. Pearce J.A., Harris N.B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. // *J. Petrol.* – 1984. – Vol. 25. – pp. 956-983.
22. Pearce J.A. Sources and settings of granitic rocks. // *Episodes.* – 1996. – Vol. 19. No. 4. – pp. 120-125.
23. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. // *Geol. Spec. Publ.* – 1989. – No. 42. – pp. 313-345.

References

1. Bogush I. Ya. Gold-bearing beresites in the North Caucasus. *Doklady Akademii Nauk of the Russian Federation.* 1995. Vol. 342. No. 2. pp. 205-208. (In Russ.)
2. Bogush I.A., Ryabov G.V., Cherkashin V.I. Genesis and ore-bearing structures of the Chuchukur noble metals deposit of the North Caucasus. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2020. Vol. 10. No. 1. pp. 81-95. (In Russ.)
3. Bubnov S.N., Dokuchaev A. Ya., Kurchavov A.M. et al. Pliocene ignimbrites of the Greater Caucasus: material composition and sources of melts. *Earth Sciences.* 2016. Issue. 2. pp. 12-51. (In Russ.)
4. Volynets A. O., Pevzner M. M., Tolstykh M. L. et al. Volcanism of the southern part of the Sredinny Ridge of Kamchatka in the Neogene-Quaternary. *Geology and geophysics.* 2018. Vol. 59. No. 12. pp. 1979-1996. (In Russ.)
5. Gazeev V.M., Gurbanov A. G. Early Paleozoic gabbroids of the Arkhyz intrusive complex (North Caucasus): geodynamic typification and mineralogy. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2020. Vol. 10. No. 3. pp. 6-22. (In Russ.)
6. Gusev G.S., Kudryavtsev Yu.K., Gushchin A.V. Geochemical and metallogenic specialization of structural-material complexes. Saint Petersburg, VSEGEI. 1999. 514 p. (In Russ.)
7. Lebedev V.A., Bubnov S.N., Chernyshev I.V. et al. Geochronology and petrogenesis of young (Pliocene) granitoids of the Greater Caucasus: Dzhimara polyphase massif, Kazbek neovolcanic region. *Geochemistry.* 2009. No. 6. pp. 582-602. (In Russ.)
8. Luchitskaya M.V. Granitoid magmatism and formation of the continental crust of the northern rim of the Pacific Ocean in the Mesozoic-Cenozoic. Moscow. GEOS. 2014. 360 p. (In Russ.)
9. 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.)
10. Omelchenko V.L. Ophiolites of the North Caucasus and some problems of the geology of its ancient complexes. *Essentuki.* 2021. 167 p. (In Russ.)
11. Rodzianko N. G., Dzhumaylo V. I., Savin S. V., et al. *Geology and Geochemistry of the Central Part of the North Caucasus (Endogenic Deposits).* Rostov-on-Don. Rostov University. 1971. 204 p. (In Russ.)
12. Semenukha I.N., Chernykh V.I., Sokolov M. G., et al. Explanatory note, sheets K-37-VI, K-37-XII (Karachaevsk), Caucasian series, second edition. Saint Petersburg, VSEGEI, 2009. 204 p. (In Russ.)
13. Turkina O.M. Model geochemical types of tonalite-trondhjemite melts and their natural equivalents. *Geochemistry.* 2000. No. 7. pp. 704-717. (In Russ.)
14. Turkina O.M. Lectures on the geochemistry of magmatic and metamorphic processes. Novosibirsk, RIC NSU. 2014. 118 p. (In Russ.)
15. Fedorov P.I. Cenozoic volcanism in stretch zones on the eastern margin of Asia. In: *Proceedings of GIN RAS.* 2006. Issue 537. 316 p. (In Russ.)
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. Harris N. B. W., Pearce J. A., Tindle A. G. Geochemical characteristics of collision – zone magmatism. M. P. Coward, A. C. Ries (Eds) *Collisions*. Geol. Soc. Spec. Pub. 1986. Vol. 19. pp. 67-81.
18. Kuritani T. Phenocryst crystallization during ascent of alkali basalt magma at Rishiri Volcano, Northern Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 1999. Vol. 88. No. 1-2. pp. 77-97.
19. Miyake Y. Geochemistry of igneous rocks of Shimane peninsula, formed within a Miocene back-arc rifting zone at the Japan sea margin. *Geochem. J.* 1994. Vol. 28. pp. 451-472.
20. Pearce J. A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. *Continental basalts and mantle xenoliths.* / Hawkesworth C. J., Norry M. J. (Eds) Shiva Press, Nantwich, U. K. 1983. pp. 230-249.
21. Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.* 1984. Vol. 25. pp. 956-983.
22. Pearce J. A. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes.* 1996. Vol. 19. No. 4. pp. 120-125.
23. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. *Geol. Spec. Publ.* 1989. No. 42. pp. 313-345.