

УДК 552.323.5

DOI: 10.46698/VNC.2025.39.34.002

Оригинальная статья

Граносиениты чучкурского гипабиссального комплекса (Передовой хребет Большого Кавказа): вопросы петрогенезиса, геодинамическая ТИПИЗАЦИЯ

В.М. Газеев^{1,2}, И.А. Кондрашов¹

¹ Институт геологии рудных месторождений петрографии, минералогии и геохимии РАН, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: vik.gaz.54@mail.ru;

² Владикавказский научный центр РАН, Россия, 363110, с. Михайловское, ул. Вильямса, 1

Статья поступила: 10.03.2025, доработана: 27.05.2025, принята к публикации: 30.05.2025

Резюме: Актуальность работы. Изучение гранитоидов Большого Кавказа сформировавшихся на рубеже позднего палеозоя и мезозоя является важной проблемой в связи с тем, что с ними в регионе ассоциируют золото – полисульфидно – кварцевые рудные объекты. Также оно необходимо для уточнения особенностей магматизма и геодинамического развития региона в пермо-триасе. **Целью исследования** является получение аналитических данных, уточнение геодинамической позиции и рудной специализации гипабиссальных граносиенитов. **Объектами исследований** являлись массивы граносиенитов чучкурского комплекса распространенные в восточной части зоны Передового хребта Большого Кавказа. **Методы исследования** включали: изучение состава отобранных образцов *XRF*, *ISP-MS* методами, их петрографическое описание, расчеты геохимических характеристик, анализ дискриминационных диаграмм. **Результаты исследования.** Установлено, что граносиениты являются умеренно щелочными, высокомагнезиальными, умеренно калиевыми образованиями с калиево-натриевым типом щелочности. Показано, что они относятся к группе высоко *Ba-Sr* гранитоидов санукитоидного типа с повышенными концентрациями *Cr*, *Ni*, *Nd*, *LiLe*, *LREE*, и отношениями *Mg[#]*, *La/Yb*. Предполагается, что их исходные расплавы формировались в литосферной мантии на глубине 52-56 км при плавлении метасоматизированных перидотитов и возможном участии эклогитов деламинированной нижней коры. Отмечено, что с изученными породами ассоциируют сульфидные зоны не колчеданного типа, для которых характерны повышенные концентрации *Au*.

Ключевые слова: Большой Кавказ, петрография, геодинамика, санукитоиды, геохимия.

Благодарности: Работа выполнена в рамках Базовой темы Лаборатории Петрографии ИГЕМ РАН «Петрология магматических комплексов для реконструкции геодинамических режимов формирования Восточно-Европейского кратона» (рег. № FMMN-2024-0014.124022400143-9) и благодаря финансовой поддержке НИОКР КНИО ВНЦ РАН (рег. № 125022803010-6).

Для цитирования: Газеев В.М., Кондрашов И.А. Граносиениты чучкурского гипабиссального комплекса (Передовой хребет Большого Кавказа): вопросы петрогенезиса, геодинамическая типизация. // Геология и геофизика Юга России. 2025. 15(2): 8-20. DOI: 10.46698/VNC.2025.39.34.002

DOI: 10.46698/VNC.2025.39.34.002

Original paper

Granosyenites of the Chuchkur hypabyssal complex (Greater Caucasus Front Range): petrogenesis issues, geodynamic typing

V.M. Gazeev^{1,2}, I.A. Kondrashov¹

¹ Institute of Geology of Ore Deposits of Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, 35 Staromonetny lane, Moscow 119017, Russian Federation, e-mail: vik.gaz.54@mail.ru;

² Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 1 Williams Str., Mikhailovskoye village 363110, Russian Federation

Received: 10.03.2025, revised: 27.05.2025, accepted: 30.05.2025

Abstract: Relevance. The study of granitoids of the Greater Caucasus, formed at the turn of the Late Paleozoic and Mesozoic, is an important problem due to the fact that gold-polysulfide-quartz ore objects are associated with them in the region. It is also necessary to clarify the features of magmatism and geodynamic development of the region in the Perm-Trias. **The aim** of the study is to obtain analytical data, clarify the geodynamic position and ore specialization of hypabyssal granosyenites. **The objects** of study were massifs of granosyenites Chuchkur complex, distributed in the eastern part of the zone of the Front Range of the Greater Caucasus. **The research methods** included: study of the composition of selected samples by XRF, ICP-MS methods, their petrographic description, calculations of geochemical characteristics, analysis of discriminative diagrams. **Results.** It is established that granosyenites are moderately alkaline, high-magnesian, moderately potassic formations with potassium-sodium type of alkalinity. It is shown that they belong to the group of high Ba-Sr granitoids of sanukitoid type with increased concentrations of Cr, Ni, Nd, Li, LREE and Mg[#], La/Yb ratios. It is assumed that their initial melts were formed in the lithospheric mantle at a depth of 52–56 km during melting of metasomatized peridotites and possible participation of eclogites of the delaminated crust. It was noted that the studied rocks are associated with sulfide zones of non-kolchodan type, which are characterized by elevated Au concentrations.

Keywords: Greater Caucasus, petrography, geodynamics, sanukitoids, geochemistry.

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the Basic Theme of the IGEM RAS Laboratory of Petrography, “Petrology of Magmatic Complexes for Reconstruction of Geodynamic Regimes of the East European Craton Formation” (No. FMMN-2024-0014.124022400143-9), and with financial support from the NIOKTR KNIO VSC RAS (No. 125022803010-6).

For citation: Gazeev V.M., Kondrashov I.A. Granosyenites of the Chuchkur hypabyssal complex (Greater Caucasus Front Range): petrogenesis issues, geodynamic typing. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2025. 15(2): 8–20. DOI: 10.46698/VNC.2025.39.34.002

Введение

Петролого – геохимическое изучение гранитоидов Передового хребта (ПХ) Большого Кавказа (БК) сформировавшихся на рубеже позднего палеозоя и мезозоя является важной задачей. Ее актуальность определяется тем, что с ними пространственно ассоциируют мелкие золото – полисульфидно-кварцевые месторождения и рудопоявления. **Целью исследования** является изучение монзонитов и

граносиенитов чучкурского гипабиссального комплекса (ЧК), уточнение условий их формирования, определение геодинамической принадлежности, петрогеохимического типа. **Объектами для исследования** выбраны гипабиссальные монцониты и граносиениты ЧК распространенные в восточной части ПХ БК, где они образуют субширотный прерывистый пояс протяженностью 60 км, в междуречье Баксан – Малка – Кубань – Теберда. Интрузивы ЧК (рис. 1) залегают в виде даек, штоков и удлиненных, вытянутых тел мощностью от первых десятков метров до 0,5 км, и протяженностью до 4 – 6 км. Их тела прорывают осадки позднекарбонового и раннепермского возраста (кинырчатская, гималдыкская свиты) и с разрывом перекрыты раннеюрскими осадками. Возрастной интервал образования пород ЧК по геологическим данным поздняя пермь – ранний триас. Считается, что ЧК является представителем самостоятельного кратковременного этапа магматической активизации, оторванного от раннепермского вулканизма ПХ, плутонических образований Карачаево-Черкесского горст – антиклинория и горст – антиклинория Главного хребта. Предполагается вероятная связь магматитов ЧК с одной из фаз индосинийского тектогенеза – преднорийской (лабинской) либо предплинсбахской. По породам ЧК местами развиваются зоны гидротермальных изменений с сульфидной вкрапленностью [Письменный и др., 2004; Омельченко, 2021].

Материал и методы его исследования

Изучена коллекция образцов, собранная в 2019, 2020 и 2023 гг. по долинам рек Суарык, Малка, Кубань, Даут, и на северном фланге Тырныаузского W-Мо месторождения в районе перевала «Сурьма». Аналитические данные получены в ЦКП «ИГЕМ–Аналитика» методами: рентгено – флуоресцентного анализа (*XRF*) на спектрометре «Респект-100» (23 пробы) и спектроскопии с индукционно-связанной плазмой (*ICP-MS*) на масс – спектрометре *X-Series II* (8 проб). Контроль точности анализов осуществлялся с использованием российских и международных стандартов применяемых в ЦКП «ИГЕМ–Аналитика». Потери при прокаливании (*ППП*) для (*XRF*) определены обычным весовым методом. Определение содержания благородных металлов (12 проб) проводилось в Лаборатории физико-химических и химических методов анализа ИМГРЭ методом *ICP MS* на Elan 6100 DRC с использованием стандартного раствора Perkin Elmer Pure Plus Atomic; Standard № 9300234 с пределами обнаружения (в г/т): Au – 0.002; Ru – 0.001; Pt – 0.01; Pd – 0.01; Ag – 0.01. При построении диаграмм дополнительно использовались силикатные анализы пород ЧК (19 проб) приведенные в отчетах ФГУГП «Кавказгеолсъемка». Изучение образцов включало их петрографическое описание, расчеты геохимических характеристик, построение и анализ диаграмм.

Полученные результаты

Согласно классификационной диаграмме (Na_2O+K_2O) – SiO_2 (рис. 2) фигуративные точки (ФТ) составов изученных интрузивов ЧК по данным RFA (табл. 1) группируются в зоне умеренно-щелочных пород (Na_2O+K_2O от 7,01 до 9,28; Σ/n 7,75% $n=23$), преимущественно в поле граносиенитов. Реже ФТ отмечаются в поле монцонитов и по данным силикатных анализов ФГУГП «Кавказгеолсъемка» в поле гранодиоритов. Граносиениты, граносиенит – порфиры и монцониты имеют порфировидную, сериально- и гломеропорфировую структуру. В наиболее крупных телах структура пород гипидиоморфнозернистая.

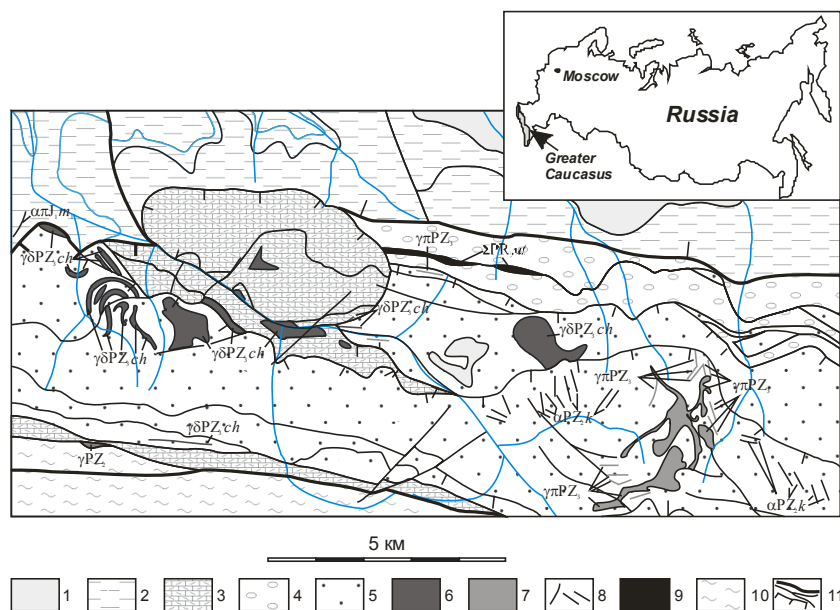


Рис. 1. Схематическая геологическая карта района распространения интрузий чучкурского комплекса в верховьях р. Худес (по материалам ФГУГП «Кавказгеолсъемка», лист К-38-1, VII. 2004 г.)

Условные обозначения. 1-5 Разновозрастные толщи, вулканогенных и осадочных пород:

1 – Плиоцен-четвертичные; 2 – Ранне-среднеюрские; 3 – Раннепермские; 4 – Позднекарбоновые;

5 – Ранне-среднедевонские; 6-9 Магматические породы: 6 – Позднепермские граносиениты

чучкурского комплекса; 7 – Позднекарбоновые лейкограниты кубанского комплекса;

8 – Среднепалеозойский кызылкольский субвулканический комплекс; 9 – Серпентиниты;

10 – Метаморфические породы; 11 – Геологические границы /

Fig. 1. Schematic geological map of the intrusion area of the Chuchkur complex in the upper reaches of the Khudes river (based on the materials of the FSUGE "Kavkazgeols'emka", sheet K-38-1, VII. 2004).

Legend. 1-5 Strata of volcanogenic and sedimentary rocks of different ages: 1 – Pliocene-Quaternary;

2 – Early-Middle Jurassic; 3 – Early Permian; 4 – Late Carboniferous; 5 – Early-Middle Devonian;

6-9 Igneous rocks: 6 – Late Permian granosienites of the Chuchkur complex; 7 – Late Carboniferous

leucogranites of the Kuban complex; 8 – Middle Paleozoic Kyzylkol subvolcanic complex;

9 – Serpentinities; 10 – Metamorphic rocks; 11 – Geological boundaries

Вкрапленники представлены плагиоклазом (10-20%), амфиболом (3-7%), реже кварцем (1-3%), и иногда калиевым полевым шпатом (КПШ). Плагиоклаз (олигоклаз), присутствует в виде широкотаблитчатых в разной степени серицитизированных кристаллов и их сростков, содержит включения карбоната *in situ* и роговой обманки. Амфибол (роговая обманка) присутствует в виде удлиненных кристаллов размером до 0,2×2,0 мм, замещается хлоритом (клинохлор) реже эпидотом. Основная масса (ОМ) существенно полевошпатовая, гипидиоморфнозернистая и аллотриаморфнозернистая (70-80%), состоит из альбит-олигоклаза, КПШ, кварца, иногда с примесью роговой обманки, мусковита, хлорита, эпидота. Акцессорные и рудные минералы апатит, сфен, рутил, магнетит, пирит. Иногда в породе отмечаются карбонатные и кварц – хлорит – альбитовые микропрожилки. В позднем альбит-олигоклазе ОМ отмечены расшнурованные расплавные включения и первичные газовой-жидкие включения. В некоторых случаях ОМ интенсивно серицитизирована. В случаях с гипидиоморфнозернистой структурой породы состоят из преобладающего серицитизированного плагиоклаза (олигоклаза), КПШ, реже кварца, в промежутках между минералами калиевого базиса хлорит, мусковит, эпидот, апатит, рудный минерал.

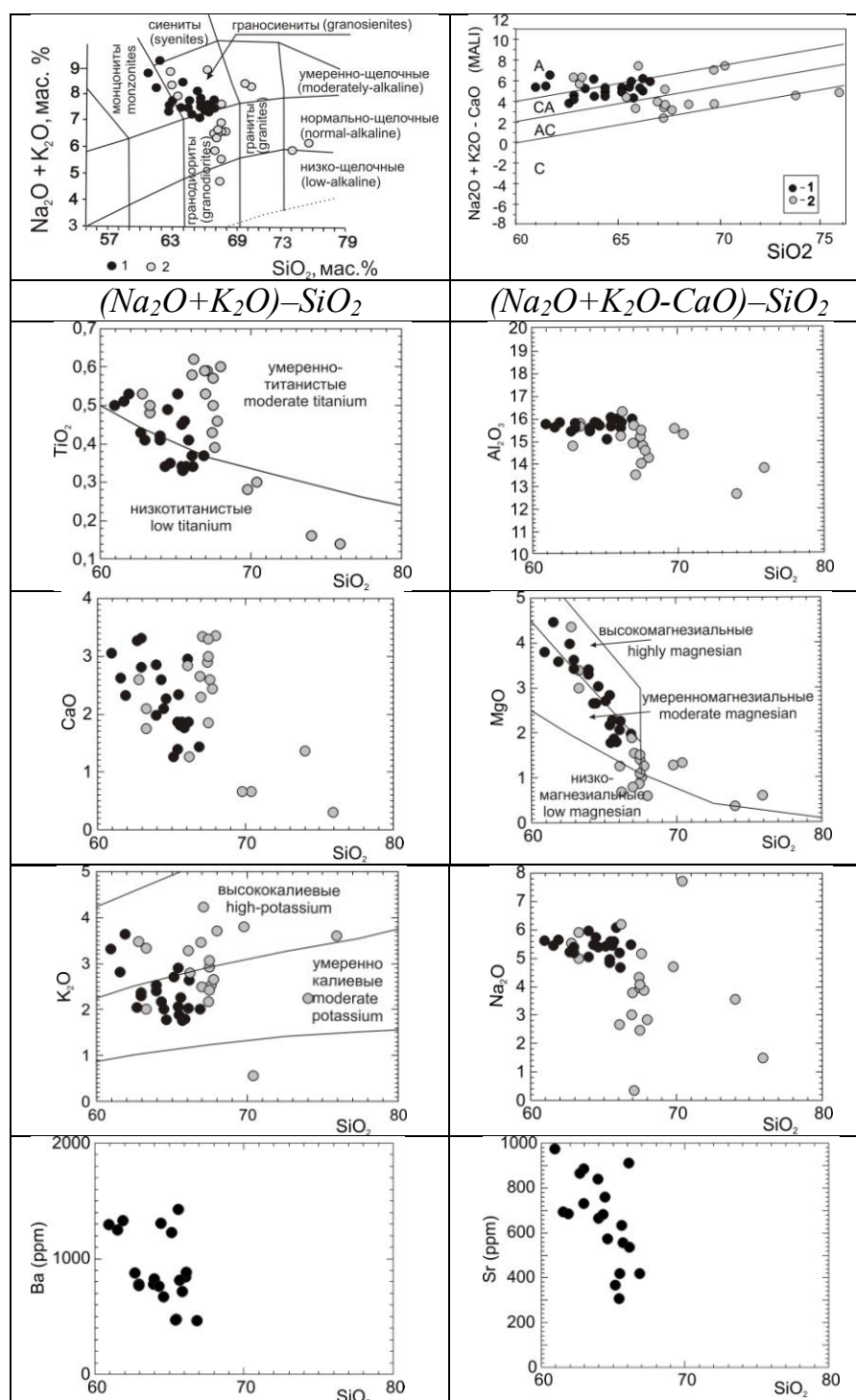


Рис. 2. Составы пород на классификационных диаграммах и диаграммах концентраций петрогенных компонентов (в мас. %).
Условные обозначения: На диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}) - \text{SiO}_2$ поля гранитоидов: C – известковистых, AC – щелочно-известковистых, CA – известково-щелочных, A – щелочных. 1 – РФА. 2 – Силикатный анализ /

Fig. 2. Rock compositions on classification diagrams and diagrams of concentrations of petrogenic components (in wt %). Legend: In the diagram $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}) - \text{SiO}_2$ fields of granitoids: C – calcareous, AC – alkaline-calcareous, CA – calcareous-alkaline, A – alkaline.
1 – XRF. 2 – Silicate analyses

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 ppm)**

Sample	9/19	10/19	11/19	49/19	51/19	53/19	1/23	3/23
SiO ₂	65,16	61,89	60,94	63,94	62,7	62,98	64,45	65,60
TiO ₂	0,53	0,53	0,5	0,42	0,43	0,41	0,49	0,46
Al ₂ O ₃	15,1	15,85	15,76	15,45	15,45	15,79	15,79	15,98
Fe ₂ O ₃	4,06	3,78	3,91	3,6	4,02	3,65	3,03	2,69
MnO	0,13	0,07	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06
MgO	2,7	3,59	3,79	3,41	3,97	3,42	2,65	2,28
CaO	1,27	2,33	3,05	2,86	3,27	3,31	2,10	1,81
Na ₂ O	5,42	5,65	5,61	5,06	5,23	5,39	5,74	5,46
K ₂ O	2,7	3,63	3,31	2,52	2,05	2,29	2,01	2,26
P ₂ O ₅	0,24	0,36	0,36	0,19	0,22	0,2	0,31	0,29
ППП	2,29	1,84	2,07	2,16	2,24	2,21	2,86	2,57
Сумма / Sum	99,66	99,59	99,54	99,67	99,66	99,71	99,49	99,46
Cr	84	103	114	105	119	103	106	105
V	96	94	87	80	84	81	94	89
Co	17	12	14	11	18	15	14	13
Ni	45	66	73	71	80	60	52	51
Cu	65	17	36	14	<10	17	16	16
Zn	50	57	87	59	51	50	60	57
Pb	37	58	62	14	21	17	27	20
Rb	55	82	76	61	50	58	47	54
Sr	366	686	973	838	864	732	760	634
Ba	1228	1332	1297	781	876	769	1306	1428
Zr	159	183	173	120	120	124	193	196
Y	14	15	19	10	16	14	15	16
Li	31	22,6	29,2	21,9	22,3	33,5	17,9	15,3
Be	1,9	33,0	3,1	1,7	1,8	2,0	2,6	2,5
Sc	7,2	7,4	8,9	8,8	10,6	9,7	8,2	7,1
Ti	3047	2805	3055	2852	2503	2433	2930	2806
Nb	7	9	10	6	7	5	10	10
Mo	1,4	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3
Sn	1,5	1,2	1,6	1	1,1	1,4	1,2	1,2
Sb	1,4	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,5	0,3
Cs	0,7	0,9	1,2	2,0	2,3	2,6	2,5	2,6
La	30,1	61,9	63,2	25,5	26,5	25,7	45,7	47,2
Ce	63,8	123,7	125,8	52,8	55,4	54	92,1	89,6
Pr	7,9	14,2	14,4	6,5	6,5	6,2	9,8	9,9
Nd	30,6	52,1	53,6	25,2	26,1	24,9	40,3	39,5
Sm	5,5	8,6	8,8	4,6	4,9	4,6	6,9	6,9
Eu	1,4	2,3	2,4	1,3	1,4	1,3	2,0	2,0
Gd	4,3	6,3	6,4	3,9	4,0	3,7	4,9	5,0
Tb	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
Dy	2,4	3,0	3,2	2,3	2,4	2,2	2,7	2,9
Ho	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6
Er	1,2	1,3	1,4	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3
Tm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Yb	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	1,1
Lu	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,17	0,16
Hf	4,0	5,4	6,1	3,7	3,6	3,8	5,4	5,9
Ta	0,47	0,45	0,5	0,16	0,27	0,25	0,54	0,51
W	1,6	1,1	1,5	0,1	1,0	1,3	4,6	1,7
Bi	0,26	0,34	0,97	0,15	0,03	0,04	0,02	0,06
Th	9,8	25,58	26,67	9,0	8,96	8,64	15,86	15,72
U	3,3	7,2	7,8	2,0	2,5	2,5	4,9	4,9

Примечание: 9/19, 10/19, 11/19, 49/19, 51/19, 53/19, 1/23, 3/23 – граносиениты. Место отбора образцов: 9/19, 10/19, 11/19 – р. Кубань; 49/19, 51/19, 53/19 – р. Малка; 1/23, 3/23 – р. Даут. /

Note: 9/19, 10/19, 11/19, 49/19, 51/19, 53/19, 1/23, 3/23 – granosienites. Sampling sites: 9/19, 10/19, 11/19 – Kuban river; 49/19, 51/19, 53/19 – Malka river; 1/23, 3/23 – Daut river.

На диаграмме $(Na_2O+K_2O-CaO)-SiO_2$ [Frost et al., 2001] (рис. 2) ФТ граносиенитов группируются в поле известково-щелочных и щелочных пород. На диаграммах SiO_2 – *петрогенные элементы* отмечается, что породы относятся к умеренно- и низкотитанистым; умеренно- и высокомагнезиальным $Mg^\#$ 0,57–0,69 ($\Sigma/n = 0,63$); умереннокалиевым образованиям K_2O от 1,76 до 3,63 ($\Sigma/n = 2,36\%$). Они характеризуются низкими содержаниями CaO от 1,2 до 3,2%, высокими содержаниями Na_2O от 4,67 до 6,07 ($\Sigma/n = 5,4\%$). Это пересыщенные глиноземом $(CaO+Na_2O+K_2O) < Al_2O_3$; $Al^I = 1,8-3,4$ породы с калиево-натриевым типом щелочности. Na_2O/K_2O 1,7–3,4. Индикаторные отношения геохимически сходных элементов $Zr/Hf = 33$. $K/Rb = 351$ указывают на возможную дифференциацию расплавов. U/Th отношение $(0,27-0,43) < 1$ указывает на неизменность составов пород вторичными процессами. Следует отметить, что для граносиенитов ЧК характерны высокие содержания: Ba 461–1428 ($\Sigma/n = 921$ ppm); Sr 366–973 ($\Sigma/n = 658$ ppm); Gr 50–137 ($\Sigma/n = 97$ ppm); Ni 31–93 ($\Sigma/n = 60$ ppm); $Mg^\#$ 0,63. Известно, что с интрузивами ЧК ассоциируют золотосодержащие рудные объекты; в связи с этим в граносиенитах проведено определение содержаний благородных металлов (табл. 2). Содержание Au в породе варьирует здесь от 0,002 до 0,074 г/т ($\Sigma/n = 0,012$ г/т). Ag от менее 0,01 до 0,074 г/т ($\Sigma/n = 0,0435$ г/т).

Таблица 2/ Table 2

Содержание благородных металлов в граносиенитах (в г/т) /
The content of precious metals in granosienites (in ppm)

Sample	5/20	9/20	11/20	11/19	49/19	51/19	52/19	53/19	1/23	2/23	3/23	4/23
Ru	0,009	0,011	0,003	0,006	0,001	0,001	0,001	0,007	0,003	0,002	0,002	0,002
Pd	<0,01	<0,01	<0,01	0,016	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,019	0,138	<0,01
Ag	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,074	0,065	0,049	0,033
Pt	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Au	0,005	0,074	0,022	0,002	0,002	0,002	0,002	0,009	0,002	0,003	0,016	0,006

Место отбора образцов: 5/20, 9/20, 11/20 – р. Суарык; 11/19 – р. Кубань; 49/19, 51/19, 52/19, 53/19 – р. Малка; 1/23, 2/23, 3/23, 4/23 – р. Даят. / Sampling location: 5/20, 9/20, 11/20 – Suaryk river; 11/19 – Kuban river; 49/19, 51/19, 52/19, 53/19 – Malka river; 1/23, 2/23, 3/23, 4/23 – Daut river.

На дискриминационной диаграмме (ДД) $FeO_T/(FeO_T+MgO)-SiO_2$ [Frost et al., 2001] (рис. 3), где показана линия разграничения магнезиальных и железистых гранитоидов ФТ ЧК группируются в области магнезиальных образований, в пограничной зоне между гранитами S и I типа. Сравнение содержаний оксидов и типоморфных элементов с эталонами гранитов M, I, S, A – типа и геохимическими типами гранитоидов по Л.В. Тауссону [Туркина, 2014; Гусев, 2012] показывает, что породы ЧК отличаются от этих стандартов. Отметим, что в настоящее время выделяют и другие типы гранитоидов, с понятной геодинамической позицией и исходным плавящимся субстратом. Наиболее известны – шошониты (SH), адакиты (AD) и санукитоиды (SN) [Гусев, 2012; Martin et al., 2005]. Сравнение с шошонитами показывает, что граносиениты ЧК при равных SiO_2 , Al_2O_3 отличаются более высоким MgO и более низкими Na_2O+K_2O , Rb , Ba , Sr , Th , Zr , Y и $(K_2O/Na_2O) < 1$. На ДД $Rb/30 - Hf-Ta \times 3$ [Harris et al., 1986] ФТ ЧК группируются в поле VAG гранитов вулканических дуг. На ДД $Sr/Y - Y$ [Defant, Drummond, 1990] в поле адакитов. На ДД $Sr-(SiO_2/MgO) \times 100 - K/Rb$ [Martin et al., 2005] в поле высококремнистых адакитов.

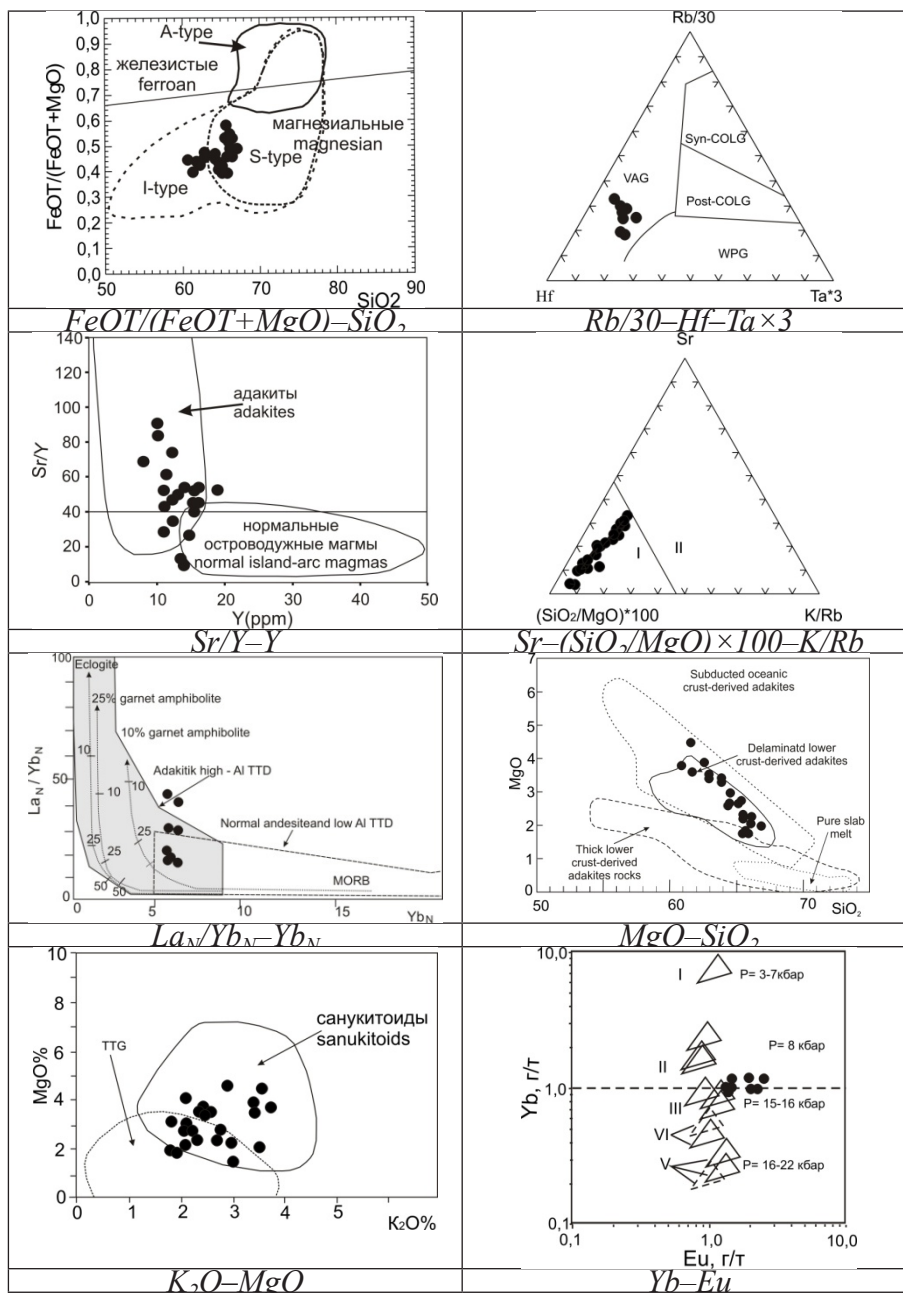


Рис. 3. Составы пород на петрогенетических диаграммах.

Условные обозначения: На диаграммах $Rb-(Y+Nb)$, $Rb/30-Hf-Ta \times 3$: VAG – граниты вулканических дуг, syn-COLG – граниты синколлизийные, post-COLG – граниты постколлизийные, WPG – граниты внутриплитные. На $Sr-(SiO_2/MgO) \times 100-K/Rb$ поля адакитов: I – высококремнистых, II – низкокремнистых. На $Yb-Eu$ P – давление в кбар /

Fig. 3. Rock compositions on petrogenetic diagrams. Legend: On the diagrams $Rb-(Y+Nb)$, $Rb/30-Hf-Ta \times 3$: VAG – granites of volcanic arcs, syn-COLG – syncollisional granites, post-COLG – postcollisional granites, WPG – intraplate granites. On $Sr-(SiO_2/MgO) \times 100-K/Rb$ adakite fields: I – high-siliceous, II – low-siliceous. On $Yb-Eu$ P is the pressure in kbar

На ДД La_N/Yb_N-Yb_N в поле высокоглиноземистых, тоналит – трондjemит – даци-товых адакитов, нанесены тренды плавления исходных пород [Defant, Drummond, 1990; Xu et al., 2000]. Заметно, что ФТ ЧК здесь смещены относительно трендов плавления гранатовых амфиболитов и эклогитов. Это, по-видимому, указывает на иной, более сложный генезис исходных расплавов. На ДД $MgO-SiO_2$ [Gan et al.,

2022] ФТ ЧК группируются в поле адакитов, образовавшихся при литосферной деляминации. На ДД K_2O-MgO [Martin et al., 2005] ФТ ЧК сконцентрированы в поле санукитоидов. На ДД $Yb-Eu$ [Туркина, 2000] ФТ ЧК расположены вблизи треугольных полей модельных составов, образующихся в результате плавления исходных пород при давлениях $\sim 15-16$ кбар, что соответствует ориентировочно глубине 52-56 км. Редкие земли (REE) пород ЧК (рис. 4) нормированные к хондриту [Sun, McDonough, 1989] образуют фракционированные тренды распределения, без европиевого минимума. По содержанию и распределению REE, они близки с аналогичными трендами пород фанерозойской Ba-Sr – габбро-гранитной серии и трендами позднеархейских санукитоидов [Егорова, 2013]. La_n/Yb_n отношение (показатель степени фракционирования REE) 17,9–42,3. La_n/Sm_n 3,4–4,6. Gd_n/Yb_n 3,0–5,2. Eu/Eu^* где $(Eu^* = (Sm_n + Gd_n)/2)$ 0,8–0,9. $\sum REE$ г/т 126–513 $\sum/n = 188$. На мультиэлементных спайдер-диаграммах, где показаны несовместимые элементы, нормированные по N-MORB [Sun, McDonough, 1989], можно отметить следующее: 1 – высокое содержание крупноионных литофильных Rb, Ba, K, Sr и радиоактивных элементов Th, U; 2 – пониженные концентрации тяжелых редкоземельных элементов HREE и Y; 3 – негативные аномалии Ta, Nb, P и Ti.

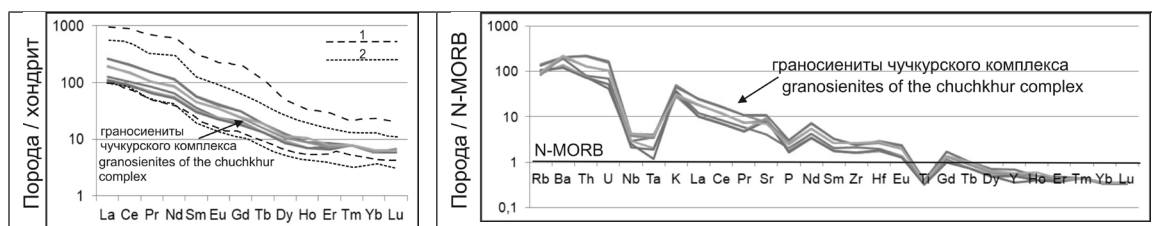


Рис. 4. Составы пород на спайдер-диаграммах.

Примечание. Концентрации несовместимых элементов нормированы по N – MORB, концентрации REE нормированы к хондриту по [Sun, McDonough, 1989]. Содержание и распределение REE в: 1 – санукитоидах Балтийского щита; 2 – породах фанерозойской Ba-Sr-габбро-гранитной серии [Егорова, 2013] /

Fig. 4. Compositions of rocks on spider diagrams. Note. Concentrations of incompatible elements normalized to N – MORB, REE concentrations normalized to chondrite according to [Sun, McDonough, 1989]. The content and distribution of REE in: 1 – sanukitoids of the Baltic Shield; 2 – rocks of the Phanerozoic Ba-Sr-gabbro-granite series [Egorova, 2013]

Кларки концентрации элементов ($K_k \geq 1,0$) рассчитаны по сравнению с кларками кислых пород [Гусев и др., 1999] в связи с тем, что в ЧК $\sum/n SiO_2 = 64,3\%$. Ранжированный ряд K_k имеет следующий вид: $Ni_{7,7}$; $Cr_{7,4}$; $Au_{6,0}$; $Sr_{2,7}$; $Ba_{1,6}$; $Sb_{1,6}$; $Pb_{1,6}$; $Ti_{1,4}$; $Co_{1,4}$; $Sc_{1,2}$; $Ag_{1,1}$; $V_{1,1}$; $Zn_{1,0}$. Сравнение концентраций элементов с петрохимическими типами пород 12 эталонных геодинамических обстановок [Гусев и др., 1999] показывает, что ЧК условно можно сопоставить с образованиями коллизионных вулcano-плутонических поясов.

Обсуждение результатов

Согласно с геодинамической моделью региона [Греков, Пруцкий, 2001] Позднегерцинский структурный ярус (карбон-пермь) выступает в качестве неоавтохтона. Наиболее полно он развит в грабен-синклинии ПХ. Предполагается, что: ранний карбон – это этап коллизии субдукционного типа; карбон-ранняя пермь – активная окраина континента (АКО) «Андийского типа»; нижняя пермь–низы верхней

перми – континентальный рифтогенез в пределах АКО; поздняя пермь и триас на Западном Кавказе – эпиконтинентальный морской бассейн. С индосинийской коллизией обычно связывают образование поздне триасового, диорит-гранодиоритового «цейского» комплекса, расположенного в зоне Главного хребта на границе Центрального и Восточного Кавказа [Греков и др., 2006]. Изученные граносиениты ЧК распространены в восточной части зоны ПХ БК, они внедрялись в заключительный период формирования палеозойского фундамента Скифской плиты (СП). Для пород характерны высокие содержания: Ba , Sr , Gr , Ni , Au , MgO ($\Sigma/n Mg^\# 0,63$), $LiLe$, $LREE$, La/Yb 18–42, при пониженных $HREE$ и Rb/Sr 0,08, K_2O/Na_2O 0,4–0,6. По содержанию петрогенных оксидов и ряда индикаторных элементов граносиениты ЧК отличаются от гранитов М, I, S, A, SH – типа. На диаграммах ФТ ЧК тяготеют к полям гранитов адакитового и санукитоидного типа. В связи с этим рассмотрим этот момент подробнее. К адакитовому типу гранитов (АД) относят специфические кислые интрузивные породы, обнаруживающие сходство с эффузивными адакитами. Для эффузивных адакитов показательны: высокие – $SiO_2 > 56\%$, $Al_2O_3 > 15\%$, Sr , $LiLe$, La/Yb ; $Sr/Y > 40$ и низкие – $Y < 18$ г/т и $Yb < 1,8$ г/т; $HFSE (Nb, Ta)$ и $HREE$. Существуют различные представления о происхождении адакитовых расплавов. Это результат: – плавления океанической плиты и последующего взаимодействия расплава с породами мантии и континентальной коры; – плавления мантийного перидотита в безводных условиях; – частичного плавления утолщенной нижней коры; – плавления деламинированной, мафической нижней коры [Defant, Drummond, 1990; Авдеенко и др., 2011; Гусев, 2012, 2014; Gan et al., 2022]. В различных регионах мира с АД ассоциируют порфировые и эпитермальные, медные и различного типа золоторудные месторождения [Гусев, 2014]. Санукитоиды (SN), это специфическая группа высокомагнезиальных магматических пород обогащенных Ba , Sr , $LREE$, и щелочами. Обычно это поздние и пост кинематические образования. Их внедрение является одним из последних магматических событий в уже кратонизированной континентальной коре. SN выплавляются из мантийного источника – метасоматизированных перидотитов. Геохимические критерии для выделения SN: SiO_2 55–67% (в однофазных комплексах 60%), $K_2O > 1,0\%$, $Mg^\# > 0,6$, $Gr \geq 200$ ppm, $Ni \geq 80$ ppm, $Ba > 1000$ ppm, $Sr > 1000$ ppm, $La > 40$ ppm, отсутствие или незначительные Eu аномалии, $Rb/Sr < 0,1$. Умеренно и известково-щелочные SN имеют более низкие $LiLe$, $LREE$, Sr 400–1000 ppm, Nd 28 ppm, $K_2O/Na_2O < 0,7$ [Martin et al., 2005; Heilimo et al., 2010; Егорова, 2010]. Приведенные выше геохимические данные, указывают на верхне-мантийную (субконтинентальная литосферная мантия) генерацию исходного расплава, за счет метасоматизированных перидотитов, при вероятном участии эклогитов деламинированной нижней коры, на глубине 52–56 км. Следует также отметить, что массивы ЧК распространены в зоне ПХ практически в пределах Транскавказского поперечного поднятия (ТПП), возраст которого считается спорным. Однако, в ее пределах по геофизическим данным отмечается повышенный тепловой поток и приподнятое положение границы Мохоровичича. Субширотная ориентация пояса, по-видимому, следует объяснять близостью регионального «Северного разлома» субширотного простирания. Иными словами, предполагается, что с ТПП связана зона активизированной или «возбужденной» мантии [Шолпо, 1978; Большой Кавказ ..., 2007]. Исходя из выше обозначенных особенностей геохимического состава граносиенитов ЧК, их возрастной (заключительный период формиро-

вания палеозойского фундамента СП) и геологической позиции (в пределах ТПП) мы считаем, что их следует относить к гранитоидам санукитоидного типа.

По данным геологических отчетов ФГУГП «Кавказгеолсъемка» г. Ессентуки с породами ЧК ассоциируют сульфидные зоны не колчеданного типа, в которых присутствует пирит, магнетит, титаномagnetит, лелингит, арсенопирит и незначительные количества < 1% сфалерита, халькопирита, мушкетовита, гематита и блеклых руд. Золото установлено в пирите и в околорудных метасоматитах. Содержание *Au* в метасоматитах колеблется от 0,1 до 2–3 г/т. Содержание пирита в сульфидных зонах составляет от 1–4% до 12–13% объема породы. В монофракциях пирита, отобранных по сульфидным зонам и в массивах гранодиоритов на удалении от рудных объектов установлены повышенные содержания *Au* (до 8–10 г/т) и *As*. Предположительно – формационный тип рудопроявлений «золото – полисульфидно-кварцевый» с элементами адуляр кварцевого.

Заключение

Изучены петрохимические особенности позднепермских гипабиссальных граносиенитов распространенных в восточной части Передового хребта Большого Кавказа. Установлено, что они являются умеренно-щелочными, высокомагнезиальными, умеренно калиевыми образованиями с калиево-натриевым типом щелочности. Показано, что они относятся к группе гранитоидов санукитоидного типа и характеризуются повышенными концентрациями *Cr*, *Ni*, *Nd*, *LiLe*, *LREE*, *Mg[#]*, *La/Yb*. Предполагается, что исходные расплавы граносиенитов формировались в литосферной мантии на глубине 52–56 км, при плавлении метасоматизированных перидотитов и возможном участии эклогитов деламинированной нижней коры. Отмечено, что с гипабиссальными граносиенитами чучкурского комплекса ассоциируют золотосодержащие сульфидные зоны не колчеданного типа, в которых присутствуют пирит, лелингит и в незначительных количествах < 1% (арсенопирит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды).

Литература

1. Авдеенко Г.П., Палуева А.А., Кувикас О.В. Адакиты в зонах субдукции Тихоокеанского кольца: Обзор и анализ геодинамических условий образования. // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2011. – Вып. 17. – С. 45–60.
2. Большой Кавказ в альпийскую эпоху. / Редактор Ю.Г. Леонов. – М.: ГЕОС, 2007. – 368 с.
3. Греков И.И. Пруцкий Н.И. Проблемы геодинамики и металлогении Центрального Кавказа в позднегерцинский – триасовый этап развития Северного Кавказа. // Проблемы геологии и геоэкологии Южно-Российского региона. Новочеркасск: НАБЛА, 2001. – С. 4–15.
4. Греков И.И., Письменный А.И., Энна Н.Л. Термодинамика Ардонской очаговой зоны на Большом Кавказе. // Региональная геология и металлогения. – 2006. – С. 48–59.
5. Гусев А.И. Петрология адакитовых гранитоидов. М.: Изд. Академия Естествознания, 2014. – 133 с.
6. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующего магматизма. М.: Изд. Академия Естествознания, 2012. – 126 с.
7. Гусев Г.С., Кудрявцев Ю.К., Гущин А.В. и др. Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. – 514 с.
8. Егорова Ю.С. Позднеархейские серии умеренно-щелочных пород Карелии на примере санукитоидного Эльмусского и сиенитового Западно-Хижъярвинского массивов. // Сборник трудов молодых ученых ИГГД РАН. – 2010. – С. 134–160.

9. Егорова Ю.С. Фанерозойские аналоги архейских санукитоидов Балтийского щита. // Материалы XXIV молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти К.О. Кратца. Апатиты: К & М, 2013. – С. 92–95.
10. Омельченко В.Л. Офиолиты Северного Кавказа и некоторые проблемы геологии его древних комплексов. Ессентуки, 2021. – 167 с.
11. Письменный А.Н., Пичужков А.Н., Зарубина М.А. и др. Государственная геологическая карта РФ. К-38-I, VII (Кисловодск). Издание второе. Кавказская серия. Объяснительная записка. СПб., 2004. – 259 с.
12. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов: учебное пособие. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.
13. Туркина О.М. Модельные геохимические типы тоналит-трондьемитовых расплавов и их природные эквиваленты. // Геохимия. – 2000. – № 7. – С. 704–717.
14. Шолпо В.Н. Альпийская геодинамика Большого Кавказа. М.: Недра, 1978. – 160 с.
15. Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. // Nature. – 1990. – Vol. 347. – pp. 662–665.
16. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J. et al. A geochemical classification for granitic rocks. // Journal of Petrology. – 2001. – Vol. 42. Issue 11. – pp 2033–2048.
17. Gan J., Xiong F., Xiao Q., Wang W., Yan D. Petrogenesis and geodynamic implications of late triassic mogetong adakitic pluton in East Kunlun orogen, Northern Tibet: Constraints from zircon U-Pb-Hf isotopes and whole-rock geochemistry. // Frontiers in Earth Science. – 2022. – Vol. 10. Art. No. 845763. DOI: 10.3389/feart.2022.845763.
18. Harris N.B., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. // Geological Society. London. Special Publications. – 1986. – Vol. 19. – pp. 67–81.
19. Heilimo E., Halla J., Hölttä P. Discrimination and origin of the sanukitoid series: geochemical constraints from the Neoproterozoic western Karelian Province (Finland). // Lithos. – 2010. – Vol. 115. – pp. 27–39.
20. Martin H., Smithies R.H., Rapp R. et al. An overview of adakite, tonalite – trondhjemite – granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. // Lithos. – 2005. – Vol. 79. – pp. 1–24.
21. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. // Geological Society. London. Special Publications. – 1989. – Vol. 42. – pp. 313–345.
22. Xu J.-F., Wang Q., Yu X.-Y. Geochemistry of high-Mg andesites and adakitic andesite from the Sanchazi block of the Mian-Lue ophiolitic melange in the Qilling Mountains, central China: Evidence of partial melting of the subducted Paleo-Tethyan crust. // Geochemical Journal. – 2000. – Vol. 34. – pp. 359–377.

References

1. Avdeenko G.P., Paluyeva A.A., Kuvikas O.V. Adakites in the subduction zones of the Pacific Rim: A review and analysis of geodynamic conditions of formation. Bulletin of KRAUNTS. Earth Sciences. 2011. Issue 17. pp. 45–60. (In Russ)
2. The Greater Caucasus in the Alpine epoch. Ed. Yu.G. Leonov. Moscow. GEOS. 2007. 368 p. (In Russ)
3. Grekov I.I., Prutsky N.I. Problems of geodynamics and metallogeny of the Central Caucasus in the Late Hercynian–Triassic stage of development of the North Caucasus. In: Problems of Geology and Geoecology of the South Russian region. Novocherkassk. NABLA. 2001. pp. 4–15. (In Russ)
4. Grekov I.I., Pismenny A.I., Enna N.L. Thermodynamics of the Ardon focal zone in the Greater Caucasus. Regional Geology and Metallogeny. 2006. pp. 48–59. (In Russ)
5. Gusev A.I. Petrology of adakite granitoids. Moscow. Academy of Natural Sciences. 2014. 133 p. (In Russ)
6. Gusev A.I. Petrology of gold-generating magmatism. Moscow. Academy of Natural Sciences. 2012. 126 p. (In Russ)

7. Gusev G.S., Kudryavtsev Yu.K., Gushchin A.V. et al. Geochemical and metallogenic specialization of structural and material complexes. Saint Petersburg. VSEGEI. 1999. 514 p. (In Russ)
8. Egorova Yu.S. Late Archean series of moderate-alkaline rocks of Karelia on the example of the sanukitoid Elmus and syenite West Khizhyarva massifs. In: Proceedings of Young Scientists of the Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS. 2010 pp. 134–160. (In Russ)
9. Egorova Yu.S. Phanerozoic analogues of Archean sanukitoids of the Baltic Shield. In: Materials of XXIV Youth Scientific school-conference devoted to the memory of K.O. Kratz. Apatity. K & M. 2013. pp. 92–95. (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. Pismenny A.N., Pichuzhkov A.N., Zarubina M.A. et al. State geological map of the Russian Federation. K-38-I, VII (Kislovodsk). Second edition. Caucasian Series. Explanatory note. Saint Petersburg. 2004. 259 p. (In Russ)
12. Turkina O.M. Lectures on the geochemistry of magmatic and metamorphic processes: textbook. Novosibirsk. RIC NSU. 2014. 118 p. (In Russ)
13. Turkina O.M. Model geochemical types of tonalite–trondyemite melts and their natural equivalents. *Geochemistry*. 2000. No. 7. pp. 704–717. (In Russ)
14. Sholpo V.N. Alpine geodynamics of the Greater Caucasus. Moscow. Nedra. 1978. 160 p. (In Russ)
15. Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*. 1990. Vol. 347. pp. 662–665.
16. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J. et al. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*. 2001. Vol. 42. Issue 11. pp 2033–2048.
17. Gan J., Xiong F., Xiao Q., Wang W., Yan D. Petrogenesis and geodynamic implications of late triassic mogetong adakitic pluton in East Kunlun orogen, Northern Tibet: Constraints from zircon U-Pb-Hf isotopes and whole-rock geochemistry. *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. Art. No. 845763. DOI: 10.3389/feart.2022.845763.
18. Harris N.B., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision–zone magmatism. Geological Society. London. Special Publications. 1986. Vol. 19. pp. 67–81.
19. Heilimo E., Halla J., Hölttä P. Discrimination and origin of the sanukitoid series: geochemical constraints from the Neoproterozoic western Karelian Province (Finland). *Lithos*. 2010. Vol. 115. pp. 27–39.
20. Martin H., Smithies R.H., Rapp R. et al. An overview of adakite, tonalite – trondhjemite – granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*. 2005. Vol. 79. pp. 1–24.
21. Sun S.S., Mc Donough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. Geological Society. London. Special Publications. 1989. Vol. 42. pp. 313–345.
22. Xu J.-F., Wang Q., Yu X.-Y. Geochemistry of high-Mg andesites and adakitic andesite from the Sanchazi block of the Mian-Lue ophiolitic melange in the Qiling Mountains, central China: Evidence of partial melting of the subducted Paleo-Tethyan crust. *Geochemical Journal*. 2000. Vol. 34. pp. 359–377.