

УДК 552.323.5

DOI: 10.46698/VNC.2024.94.67.009

Оригинальная статья

Позднекарбоновые гипабиссальные граниты и лейкограниты Большого Кавказа: вопросы петрогенезиса

В.М. Газеев ^{1,2}, А.Г. Гурбанов ^{1,2}, И.А. Кондрашов ¹

¹ Институт геологии рудных месторождений петрографии, минералогии и геохимии РАН, лаборатория Петрографии, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: ag.gurbanov@yandex.ru;

² Владикавказский научный центр Российской академии наук, Россия, 363110, с. Михайловское, ул. Вильямса 1, e-mail: vik.gaz.54@mail.ru

Статья поступила: 18.03.2024, доработана: 31.05.2024, принята к публикации: 03.06.2024

Резюме: Актуальность работы. Изучение палеозойских гранитов Большого Кавказа является важной проблемой в связи с тем, что с ними в регионе связаны полиметаллическое (Эльбрусское) месторождение, а также серия молибденовых, вольфрамовых, урановых и золоторудных месторождений и рудопроявлений. Геохимическое изучение гранитов необходимо также для уточнения особенностей геодинамического развития региона. **Целью исследования** является получение аналитических данных, уточнение геодинамической позиции и рудной специализации гипабиссальных гранитов и лейкогранитов. **Объектами исследований** являлись позднекарбоновые гранитоиды «кубанского» и «пскентского» комплексов, распространенные на Центральном и Западном Кавказе. **Методы исследования** включали: изучение состава отобранных образцов количественными XRF, ICP-MS методами; их петрографическое описание, расчеты геохимических характеристик, анализ дискриминационных диаграмм. **Результаты исследования.** Установлено, что граниты и лейкограниты представлены известково-щелочными, умеренно- и высококальциевыми, разновидностями. Показано, что они являются, постколлизийными, железистыми гранитами с характеристиками близкими к гранитам А-типа. Формирование пород происходило в геодинамических условиях активной континентальной окраины. Установлено, что лейкограниты «кубанского» комплекса относятся к подтипу А2. Их расплавы образованы при плавлении корового субстрата (P-8кбар) в условиях теплового потока зоны Транскавказского поперечного поднятия. Граниты «пскентского» комплекса относятся к подтипу А1. Образование их расплавов предположительно обусловлено термальной релаксацией нижней части коры (P-16кбар) и плавлением существенно эклогитового протолита. Отмечено, что с гранитами и лейкогранитами зоны Передового хребта Большого Кавказа ассоциирует полиметаллическое оруденение. Показано, что для пород характерны повышенные концентрации сурьмы.

Ключевые слова: петрография, геохимия, минерагения, граниты А-типа, полиметаллические месторождения, геодинамика, Транскавказское поднятие, Большой Кавказ.

Благодарности: Работа выполнена в рамках Базовой темы Лаборатории Петрографии ИГЕМ РАН «Петрология магматических комплексов для реконструкций геодинамических режимов формирования Восточно-Европейского кратона» (рег. №№ FMMN-2024-0014, 124022400143-9) и при финансовой поддержке НИОКТР КНИО ВЦ РАН (рег. № 122041100269-2).

Для цитирования: Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Кондрашов И.А. Позднекарбоновые гипабиссальные граниты и лейкограниты Большого Кавказа: вопросы петрогенезиса. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(2): 117-130. DOI: 10.46698/VNC.2024.94.67.009

DOI: 10.46698/VNC.2024.94.67.009

Original paper

Late Carboniferous hypabyssal granites and leucogranites of the Greater Caucasus: issues of petrogenesis

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

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

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

Received: 18.03.2024, revised: 31.05.2024, accepted: 03.06.2024

Abstract: Relevance. The study of Paleozoic granites of the Greater Caucasus is an important problem due to the fact that polymetallic (Elbrus) deposits are associated with them in the region, as well as a series of molybdenum, tungsten, polymetallic, uranium and gold ore manifestation. Geochemical study of granites is also necessary to clarify the features of the geodynamic development of the region. **The aim of the study** is to obtain analytical data, clarify the geodynamic position and ore specialization of hypabyssal granites and leucogranites. The objects of research were the late carboniferous granitoids of the “Kuban” and “Pskent” complexes, common in the Central and Western Caucasus. **Research methods** included: the study of the composition of the selected samples by quantitative XRF, ICP-MS methods; their petrographic description, calculations of geochemical characteristics, analysis of discrimination diagrams. **Results.** It has been established that granites and leucogranites are represented by calcareous-alkaline, moderate- and high-potassium varieties. It is shown that they are post-collisional, ferruginous granites with characteristics close to A-type granites. The formation of rocks took place in the geodynamic conditions of the active continental margin. It has been established that the granites of the Kuban complex belong to the A2 subtype. Their melts are formed during melting of the crustal substrate (*P-8 kbar*) under the conditions of the heat flow of the Trans-Caucasian transverse uplift zone. The granites of the “Pskent” complex belong to subtype A1. The formation of their melts is presumably due to thermal relaxation of the lower part of the crust (*P-16 kbar*) and melting of a substantially eclogitic protolith. It is noted that polymetallic mineralization is associated with granites and leucogranites of the zone of the Advanced Ridge of the Greater Caucasus. It is shown that the rocks are characterized by increased concentrations of antimony.

Keywords: petrography, geochemistry, minerageny, A-type granites, polymetallic deposits, geodynamics, Trans-Caucasian uplift zone, Greater Caucasus.

Acknowledgments: *The work was performed within the framework of the Basic Topic of the Laboratory of Petrography of IGEM RAS “Petrology of magmatic complexes for reconstructions of geodynamic regimes of the formation of the East European craton” (reg. No.No. FMMN-2024-0014, 124022400143-9) and with the financial support of the NIOKTR KNIO VSC RAS (reg. No. 122041100269-2).*

For citation: Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Kondrashov I.A. Late Carboniferous hypabyssal granites and leucogranites of the Greater Caucasus: issues of petrogenesis. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(2): 117-130. DOI: 10.46698/VNC.2024.94.67.009

Введение

Петролого-геохимическое изучение палеозойских гранитоидных образований Большого Кавказа (БК) является важной проблемой. Ее актуальность определяется тем, что с палеозойскими гранитами в регионе БК связаны: полиметаллические, вольфрамовые и молибденовые месторождения, урановые и золото-мышьяковые рудопроявления. Целью исследования является изучение позднекарбонатовых гипабиссальных лейкогранитов «кубанского» комплекса (КК), выделяемых на разномасштабных геологических картах Центрального Кавказа с 1970-х годов. Уточнение петро-геохимического типа гранитов, условий генерации расплавов и минерагенической специализации, а также их геохимическое сравнение с гипабиссальными гранитоидами «пскентского» комплекса. Объектами для исследования выбраны лейкограниты КК распространенные в Бечасынской и Тырнауз–Джентинской (Передового хребта) зонах БК в долинах и междуречьях Кестанты–Баксан–Малка–Кубань–Даут. Гранит-порфиры слагают дайки протяженностью от сотен метров до 3,0–5,0 км, реже образуют тела вытянутой формы протяженностью до 2 км, и мощностью до 450 м. Позднекарбонатовый возраст гранитов КК обосновывается на геологических данных. Их тела прорывают отложения среднего карбона и трансгрессивно перекрываются конгломератами раннепермской красноцветной толщи. В бассейнах рек Кубань, Даут, Худес с гранитами КК ассоциируют Эльбрусское полиметаллическое месторождение и рудопроявления (рис. 1) [Вольфсон, Лезин, 1960]. Для сравнения с лейкогранитами КК опробованы гранитоиды распространенные на Западном Кавказе в долинах рек Пскент, Бескес, Андрюк «пскентского» (ПК) гипабиссального монцодиорит–гранитного комплекса. Здесь они образуют пластообразные тела, штоки и дайки мощностью от первых метров и до нескольких сотен метров и протяженностью до 1 км среди отложений андрюкской свиты (Тоханский покров) Передового хребта. Возраст пород, согласно значениям датировок К-Аг методом, варьирует в интервалах 299–315–326±5 млн лет и считается среднекарбонатовым [Лаврищев и др., 2000].

Материал и методы его исследования

Изучена коллекция образцов гранит-порфиров, собранная в 2017–2023 гг. по долинам рек Кестанты, Шаукол, Худес, Джаланкол, Даут, Бескес, Андрюк. Аналитические данные получены в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика» методами: рентгенофлуоресцентного анализа (*XRF*) на спектрометре «Респект-100» (22 пробы) и спектроскопии с индукционно-связанной плазмой (*ICP-MS*) на масс – спектрометре *X-Series II* (19 проб). Контроль точности анализов осуществлялся российскими и международными стандартами. Дополнительно использованы силикатные анализы гранитов КК (24 пробы) и гранитоидов ПК (11 проб) выполненные в 1984–1991 годах в химической лаборатории ФГУП «Кавказгеолсъемка». Изучение образцов включало петрографическое описание, расчеты геохимических характеристик, построение и анализ различных диаграмм.

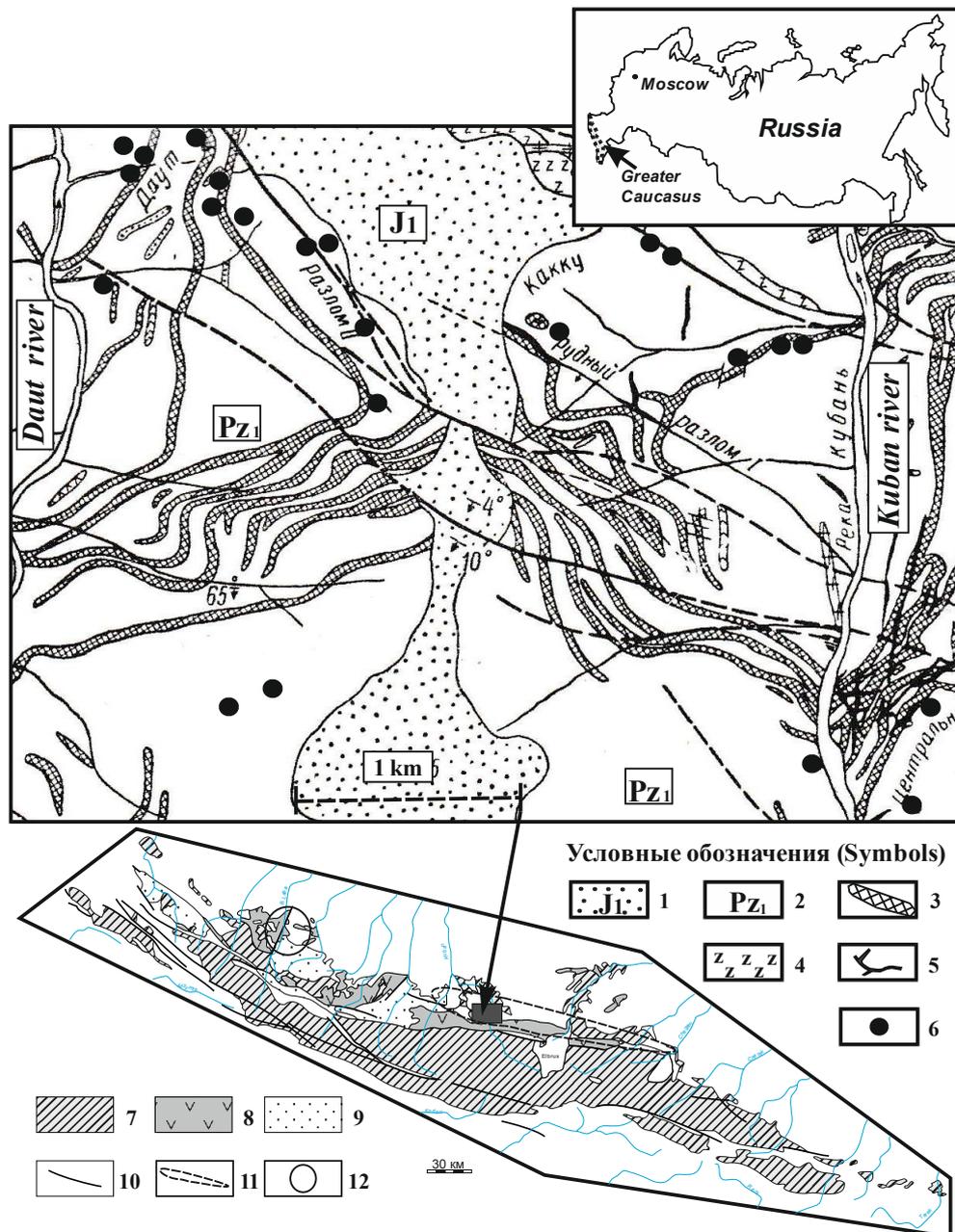


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Эльбрусского рудного поля с телами гранитов «кубанского» комплекса (Вольфсон, Лезин, 1960).

Условные обозначения: 1 – Раннеюрские песчаники. 2 – Палеозойские кристаллические сланцы.

3 – Граниты кубанского комплекса. 4 – Серпентиниты. 5 – Свинцово-цинковые рудные жилы.

6 – Свинцово-цинковые рудопоявления, 7 – породы доальпийского фундамента, 8 – среднепалеозойские

вулканогенно-осадочные породы Передового хребта, 9 – верхнепалеозойские породы Передового хребта,

10 – геологические границы, 11 – область развития лейкогранитов кубанского комплекса,

12 – область развития гранитоидов пскенского комплекса.

Fig. 1. Schematic geological map of the Elbrus ore field with granite bodies of the Kuban complex (Wolfson, Lezin, 1960).

Legend: 1 – Early Jurassic sandstones. 2 – Paleozoic crystalline shales. 3 – Granites of the Kuban complex.

4 – Serpentinities. 5 – Lead-zinc ore veins. 6 – Lead-zinc ore occurrences, 7 – rocks of the pre-Alpine basement,

8 – Middle Paleozoic volcanogenic-sedimentary rocks of the Peredovoi Range, 9 – Upper Paleozoic rocks of the

Peredovoi Range 10 – geological boundaries, 11 – area of development of leucogranites of the Kuban complex,

12 – area of development of granitoids of the Pskен complex.

Полученные результаты

Согласно классификационной диаграмме $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ (рис. 2) фигуративные точки (ФТ) составов пород КК группируются в полях лейкогранитов ($SiO_2 > 73\%$), низкой, нормальной $6 < Na_2O+K_2O < 8\%$ и умеренной щелочности. Реже они располагаются в поле гранитов и в единичном случае гранодиоритов. Породы ПК представлены аналогичными лейкогранитами разной щелочности, а также умеренно щелочными диоритами, гранитами и гранодиоритами. В составе обоих комплексов встречаются породы с низкой щелочностью, расположенные ниже границы поля магматических пород, измененных в результате автометасоматических процессов. Лейкограниты и граниты КК встречаются совместно и образуют единую группу светло- либо розовато-серых пород, имеющих порфиоровую и гранофиоровую структуру. Вкрапленники представлены кварцем, серицитизированным олигоклазом, реже калиевым полевым шпатом (КПШ), редко мусковитом. Основная масса (ОМ) гипидиоморфнозернистая и кристаллобластовая, сферолитовая и микрографическая. Состоит она из кварца, полевого шпата, мусковита. Иногда в ОМ встречаются кварц-карбонатные прожилки и хлорит. Кристаллизация ОМ начиналась с образования сферолитов или гранофиоровых агрегатов, нарастающих на вкрапленники кварца, и завершалась образованием микрогранитного агрегата. Акцессорные минералы – магнетит, сфен, апатит, монацит, пирит. Часто породы изменены, и в крайних случаях представлены серицит-кварцевыми автометасоматитами с реликтовой порфиоровой структурой. Пересчет на модальный состав дает следующие содержания в % (кварц 52–60; серицит 25–32; плагиоклаз 5–14; каолин 1,0–9,7). Лейкограниты и граниты ПК, распространенные в Бескес–Андрюкском междуречье, имеют схожий внешний облик и состав. Структура пород порфиоровая. Вкрапленники представлены кварцем, пелитизированным КПШ, олигоклазом и редко мусковитом. ОМ неравномернозернистая, аллотриоморфная и пойкилитовая кварц – полевошпат – серицитовая, иногда с примесью хлорита и карбоната. В долине р. Пскент граниты имеют мелкопорфиоровую структуру. Мелкие вкрапленники представлены кварцем и КПШ (анортоклазом) распадающимся на кварц – полевошпат – серицитовый агрегат с сохранением реликтов карлсбадских двойников. Вкрапленники обрастают кварц-полевошпатовой каемкой. ОМ аллотриоморфная, состоит из кварца, олигоклаза, КПШ, серицита и редких кварц-карбонатных микропрожилков. По данным [Лаврищев и др., 2000] в телах сложенных более крупнозернистыми гранитами ПК встречаются вкрапленники кварца, плагиоклаза, биотита, турмалина. Монодиориты сложены плагиоклазом, КПШ, кварцем, роговой обманкой, с примесью хлорита и эпидота (табл. 1).

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)**

Образец/ Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	75,14	67,12	73,64	74,71	74,88	75,77	71,88	77,25	76,08	74,02	72,19	71,92
TiO ₂	0,10	0,49	0,06	0,06	0,05	0,04	0,29	0,05	0,05	0,05	0,10	0,03
Al ₂ O ₃	13,55	14,61	14,15	13,92	12,70	12,89	14,55	13,00	12,95	15,34	15,65	15,30
Fe ₂ O ₃	1,03	3,19	1,26	1,32	1,61	1,25	1,68	0,48	0,92	0,04	0,97	1,42
MnO	0,01	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,05	0,02
MgO	0,14	1,08	0,15	0,12	0,40	0,10	0,13	0,08	0,05	0,11	0,39	0,11
CaO	0,10	1,92	1,43	0,52	0,14	0,17	0,24	0,10	0,15	0,14	0,53	0,15
Na ₂ O	3,90	3,34	2,23	3,14	3,72	3,71	4,24	3,01	3,76	3,78	6,06	4,75
K ₂ O	3,88	2,69	3,33	3,44	4,78	4,72	4,62	4,81	4,87	4,66	2,15	4,04
P ₂ O ₅	0,03	0,12	0,03	0,03	0,02	0,02	0,11	0,01	0,01	0,03	0,05	0,05
ппп	1,93	5,24	3,58	2,57	1,57	1,19	1,97	1,10	1,04	1,55	1,57	2,11
Сумма / Sum	99,81	99,85	99,9	99,86	99,88	99,87	99,75	99,9	99,89	99,73	99,71	99,9
Cr	13	<10	10	14	10	<10	<10	<10	<10	17	15	<10
V	<10	65	<10	<10	<10	<10	35	15	10	11	16	<10
Co	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ni	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10	<10	10	<10	<10	16
Cu	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	17	<10
Zn	29	48	27	22	40	46	47	15	21	16	171	22
Pb	39	<10	<10	43	<10	36	33	12	<10	38	77	<10
Rb	178	111	105	99	193	223	154	171	167	153	75	184
Sr	56	103	69	59	53	48	101	27	44	106	284	92
Ba	609	211	321	621	209	221	819	292	243	1329	920	232
Zr	105	205	95	96	127	103	243	117	118	68	75	77
Y	37	28	20	21	31	30	26	27	30	<10	<10	7
U	7	7	7	7	7	7	8	8	5	7	4	5
Li	8,76	6,89	10,86	9,38	3,67	8,81	7,69	3,42	2,14	43,12	4,06	21,32
Be	2,02	1,76	2,14	1,79	3,19	1,79	1,78	1,62	1,64	2,60	3,5	3,06
Sc	2,70	6,63	2,39	1,89	3,02	3,29	5,12	1,14	2,64	0,79	0,02	0,91
Ti	643	2871	380	371	332	218	1904	288	376	270	449	182
Nb	8,80	6,99	6,16	5,71	9,43	10,41	8,38	11,68	8,35	15,12	5,75	11,79
Mo	0,83	0,56	0,18	0,40	0,07	0,31	1,55	1,37	0,93	0,82	0,47	0,36
Sn	7,47	1,87	2,09	1,92	3,53	6,01	2,33	2,44	3,0	-	-	5,69
Sb	2,02	0,56	2,79	1,20	0,21	0,32	0,20	0,19	0,28	-	-	1,85
Cd	0,11	0,31	0,12	0,13	0,15	0,18	0,46	0,13	0,14	-	-	0,08
Cs	6,36	5,58	3,45	2,33	2,54	4,05	4,49	4,17	2,29	3,49	2,54	5,76
La	15,81	23,03	20,02	17,03	16,79	6,17	31,35	15,95	11,16	10,07	12,58	16,39
Ce	34,21	46,24	40,34	35,0	36,08	15,99	60,43	35,09	30,72	12,64	6,37	27,32
Pr	3,95	5,71	4,71	4,19	4,39	1,98	7,33	3,76	3,31	1,33	1,02	3,09
Nd	13,22	18,68	15,65	13,80	14,64	7,29	22,88	15,12	10,59	4,55	3,71	9,95
Sm	3,35	3,99	3,59	3,16	3,76	2,31	4,21	3,52	2,89	0,82	0,98	1,85
Eu	0,26	0,79	0,63	0,62	0,26	0,20	0,75	0,30	0,21	0,37	0,41	0,35
Gd	3,79	3,73	3,15	2,78	3,67	2,75	3,61	3,37	3,17	0,56	0,94	1,23
Tb	0,84	0,67	0,55	0,48	0,73	0,60	0,64	0,60	0,66	0,06	0,15	0,20
Dy	4,76	3,58	2,70	2,49	4,06	3,61	3,38	2,97	3,61	0,18	0,89	0,98
Ho	1,12	0,81	0,61	0,53	0,97	0,86	0,82	0,61	0,84	0,02	0,17	0,19
Er	2,89	2,05	1,51	1,36	2,46	2,28	2,04	1,45	2,05	0,02	0,51	0,45
Tm	0,47	0,35	0,25	0,22	0,42	0,40	0,36	0,22	0,34	0,003	0,07	0,07
Yb	2,64	2,0	1,51	1,35	2,42	2,38	2,11	1,12	1,96	0,007	0,48	0,34
Lu	0,40	0,34	0,26	0,21	0,39	0,38	0,36	0,17	0,32	0,001	0,06	0,04
Hf	2,88	4,05	2,69	2,48	3,56	3,43	5,29	4,36	3,40	2,42	2,13	2,55
Ta	1,61	0,74	0,71	0,66	1,13	1,37	0,93	1,60	1,12	1,38	0,46	1,52
W	1,87	1,10	0,94	0,19	0,43	0,50	1,08	4,74	0,67	-	-	2,62
Bi	1,14	0,24	0,01	0,13	0,19	0,07	0,08	0,04	0,41	0,55	0,10	0,54
Th	13,61	11,75	14,09	12,81	20,0	18,79	16,12	13,77	16,33	3,44	3,05	5,99

Примечание (Comment): 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 лейкограниты (leukogranites); 7, 11, 12 граниты (granites); 2 гранодиориты (granodiorites). Место отбора образцов 1, 2 р. Кестанты; 3, 4 р. Шауккол; 5, 6 р. Худес; 7 р. Джаланкол; 8, 9 р. Дгут; 10, 11 р. Пскент; 12 р. Андрюк. (The sampling site is 1, 2 r. Kestanty; 3, 4 r. Shaukol; 5, 6 r. Khudes; 7 r. Jalankol; 8, 9 r. Daut; 10, 11 r. Pskent; 12 r. Andriuk).

На диаграмме $(Na_2O+K_2O-CaO)-SiO_2$ [Frost et al., 2001] (рис. 2) ФТ гранитов группируются в поле щелочно-известковистых и известково-щелочных пород. На диаграммах SiO_2 – петрогенные элементы видны низкие содержания CaO в основном 0,1–2,0% и существенные вариации содержаний Na_2O от 0,2 до 6,8%, K_2O от 2,0 до 5,0%. ФТ гранитов КК и ПК группируются в полях умеренно- и высококалиевых образований. Это низкомагнезиальные $Mg^\#$ (0,1–0,46), плюмазитовые $(CaO+Na_2O+K_2O) < Al_2O_3$, умеренноглиноземистые ($Al^I = 1,8-13,4$) породы с натриевым и калиево-натриевым типами щелочности Na_2O/K_2O 0,6–2,8. В породах КК $Ta/Hf = 0,3$. $Ta/Zr = 0,008$. $K/Rb = 221$. U/Th отношение (0,3–0,6) < 1. В породах ПК U/Th (0,8–2,0). $Ta/Hf = 0,5$. $Ta/Zr = 0,015$. $K/Rb = 223$.

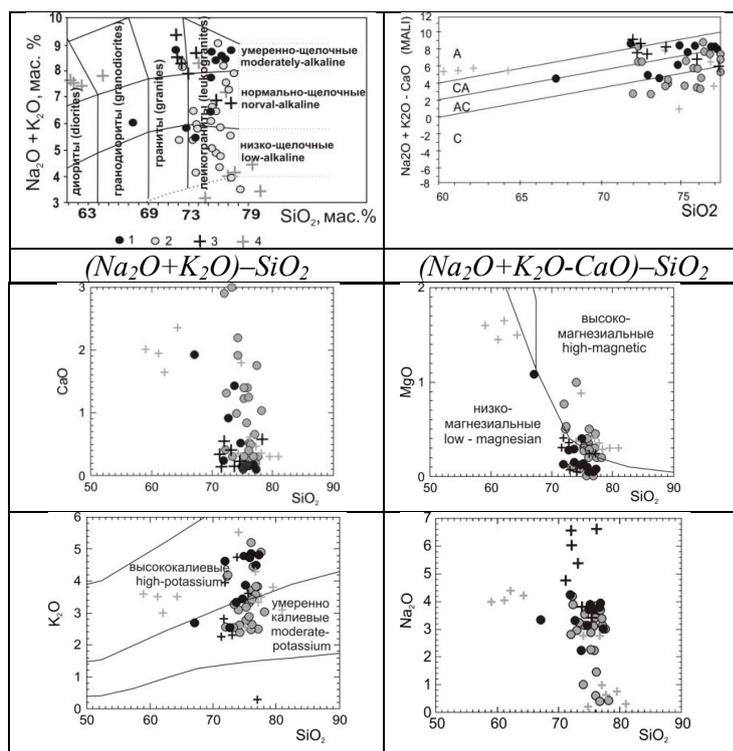


Рис. 2. Составы пород на классификационных диаграммах. Условные обозначения: на диаграмме $(Na_2O+K_2O-CaO)-SiO_2$ поля гранитоидов: С – известковистых, АС – щелочно-известковистых, СА – известково-щелочных, А – щелочных. 1,2 «кубанский» комплекс. 3,4 «пскентский» комплекс. 1, 3 – РФА; 2, 4 – силикатный анализ /

Fig. 2. Rock compositions in classification diagrams. Legend: in the diagram $(Na_2O+K_2O-CaO)-SiO_2$ fields of granitoids: C – calcareous, AC – alkaline-calcareous, CA – calcareous-alkaline, A – alkaline. 1,2 “Kuban” complex. 3,4 “Pskent” complex. 1,3 – XRF; 2,4 – silicate analysis

На дискриминационной диаграмме (ДД) $FeOT/(FeOT+MgO) - SiO_2$ [Frost et al., 2001] (рис. 3) где показаны поля магнезиальных и железистых гранитоидов ФТ группируются преимущественно в поле железистых гранитов, в области наложения полей гранитов S и A типа. Сравнение содержаний окислов с эталонами гранитов I, S A – типов [Туркина, 2014] показывает, что КК по CaO , Na_2O , K_2O , Sr и Ba , а ПК по CaO , Na_2O , K_2O , Rb вполне сравнимы с гранитами А – типа, но заметно отличаются по концентрациям Zr , Nb , Ce , Y . На ДД $Rb/30 - Hf - Ta \times 3$ [Harris et al., 1986] ФТ группируются в поле постколлизийных гранитов. На ДД $FeOt/MgO - (Zr+Nb+Ce+Y)$ [Whalen et al., 1987] ФТ располагаются в полях фракционированных и нефракционированных гранитов М-, I- и S-типов. На диаграмме гранитов А-типа,

построенной на соотношении петрохимических окислов $Na_2O+K_2O-Fe_2O_3T^*5-(CaO+MgO)^*5$ [Гребенщиков, 2014] ФТ группируются в полях гранитов А1 и А2. На аналогичных диаграммах, построенных на геохимической основе $Y-Nb-Ce$ и $Sc/Nb-Y/Nb$ [Eby, 1992], ФТ составов КК расположены в поле гранитов А2, ПК в поле гранитов А1. На ДД $Th/Yb-Ta/Yb$ [Gorton, Schandl, 2000] ФТ группируются в поле АСМ – пород активных континентальных окраин.

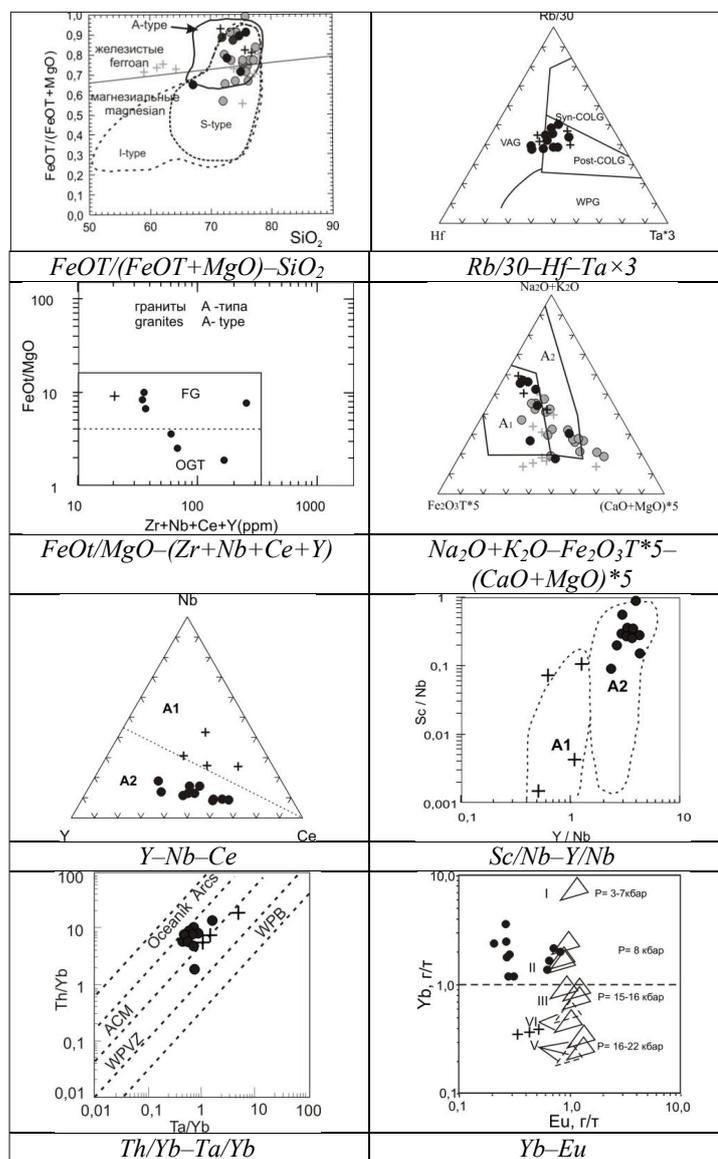


Рис. 3. Составы пород на петрогенетических диаграммах.

Условные обозначения: на диаграммах: VAG – граниты вулканических дуг, syn-COLG – граниты синколлизийные, post-COLG – граниты постколлизийные, WPG – граниты внутриплитные.

FG – фракционированные граниты, OGT – нефракционированные граниты M-, I- и S-типа, A – граниты A-типа. Oceanic Arcs – океанические дуги, ACM – активные континентальные окраины, WPVZ – внутриплитные вулканические зоны, WPB – зоны внутриплитных базальтов, P – давление в кбар /

Fig. 3. Rock compositions on petrogenetic diagrams. Legend. In the diagrams: VAG – granites of volcanic arcs, syn-COLG – syncollisional granites, post-COLG – postcollisional granites, WPG – intraplate granites. FG – fractionated granites, OGT – unfractionated granites of M-, I- and S-type, A – granites of A-type. Oceanic Arcs – oceanic arcs, ACM – active continental margins, WPVZ – intraplate volcanic zones, WPB – zones of intraplate basalts, P – pressure in kbar

На ДД $Yb - Eu$ [Туркина, 2000] ФТ гранитов КК расположены вблизи треугольных полей модельных составов, образующихся в результате плавления исходных пород при давлениях ~ 8 кбар, а ПК $\sim 15-16$ кбар. Редкие земли (REE) гранитов КК и ПК, нормированные к хондриту (рис. 4), имеют фракционированные заметно различающиеся тренды распределения. В КК La_n/Yb_n отношение (показатель степени фракционирования REE) $1,8-10,6$. La_n/Sm_n $1,7-4,8$. Gd_n/Yb_n $0,9-2,4$ Σ/n $1,4$ ($n=11$). Eu/Eu^* где ($Eu^*=(Sm_n+Gd_n)/2$) $0,2-0,6$. ΣREE г/т $178-513$ Σ/n 330 . В ПК La_n/Yb_n $3,5-34,5$. La_n/Sm_n $1,2-7,9$. Gd_n/Yb_n $1,6-66$. Eu/Eu^* $0,7-1,2$. ΣREE г/т $86-212$; Σ/n 131 ($n=4$). На мультиэлементных диаграммах несовместимых элементов, нормированных по $N-MORB$ отмечается, что спектры КК и ПК (рис. 4) имеют повышенные концентрации литофильных Rb , Ba , K и радиогенных Th , U элементов. А также негативную Ta , Nb аномалию и отрицательные аномалии P и Ti . Некоторые отличия гранитов ПК заключаются в более низких концентрациях Th , Y , $MREE$, $HREE$ и более высоких $-LREE/HREE$, Ta/Hf , Ta/Zr отношениях. Величины кларковых концентраций ($K_k \geq 1,0$) рассчитаны по уточненным данным [Гусев и др., 1999]. В породах КК $Sb_{2,2}$ $U_{1,5}$ $Pb_{1,0}$; ПК $Sb_{4,8}$ $Pb_{2,9}$ $Zn_{1,4}$ $W_{1,3}$ $Ba_{1,3}$ $U_{1,2}$ $Sn_{1,1}$ указывают на повышенные концентрации в гранитах обоих комплексов сурьмы. Сравнение изученных пород КК, ПК с геохимическими типами гранитоидов указывает на их близость к палингенным известково-щелочным гранитам по Л.В. Тауссону.

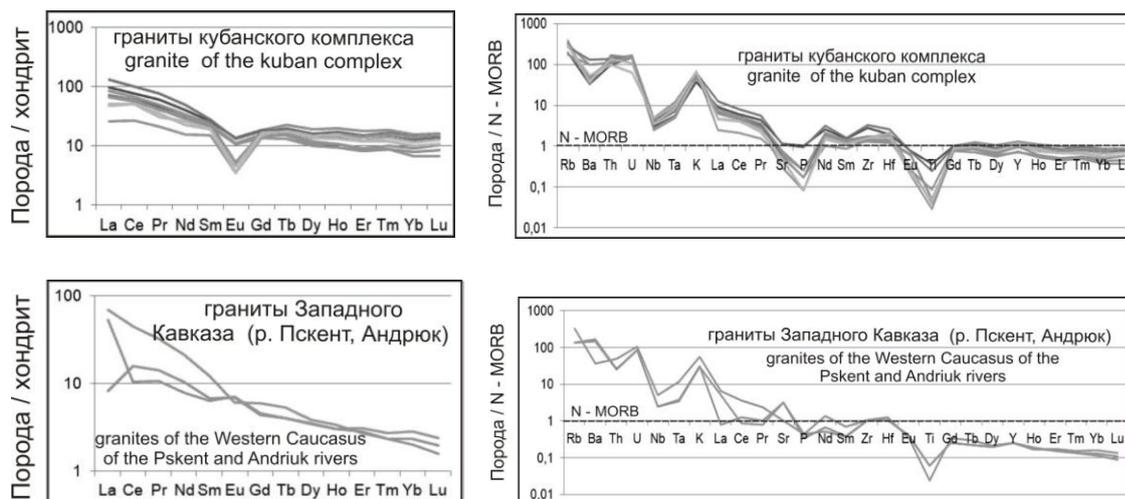


Рис. 4. Составы пород на спайдер-диаграммах.

Примечание. Концентрации несовместимых элементов нормированы по $N-MORB$, концентрации REE нормированы к хондриту по [San, McDonough, 1989] /

Fig. 4. Compositions of rocks on spider diagrams.

Comment. Concentrations of incompatible elements normalized to $N-MORB$, REE concentrations normalized to chondrite according to [San, McDonough, 1989]

Обсуждение результатов

Согласно с геодинамической моделью региона [Греков, Пруцкий, 2001] в период времени от среднего палеозоя до триаса выделяют три этапа развития БК. На первом этапе формировался раннегерцинский структурный ярус. Для него характерно развитие аллохтонных толщ, в составе которых присутствуют фрагменты коллажированных террейнов, образующих аккреционные комплексы, отдельные элементы которых формировались в различных геодинамических условиях. Позднегерцин-

ский структурный ярус (карбон-пермь), выступает в качестве неоавтохтона, наиболее полно развит в грабен-синклинории ПХ, где представлен сероцветной (карбон) и красноцветной (пермь) молассаами. Индосинийский структурный ярус распространен на западном фланге ПХ и сложен карбонатной формацией верхней перми и триаса. В соответствии с геологическим разрезом и распространенным магматизмом авторами предполагается, что: ранний карбон – это этап коллизии субдукционного типа; карбон–ранняя пермь – активная окраина континента «Андийского типа»; нижняя пермь–низы верхней перми – континентальный рифтогенез (с геохимическими уточнениями рифтогенеза в пределах активной континентальной окраины); поздняя пермь–триас – эпиконтинентальный бассейн. Изученные граниты КК и ПК внедрялись в период формирования позднегерцинского структурного яруса Скифской плиты в условиях активной континентальной окраины, что согласуется с положением ФТ на ДД $Th/Yb - Ta/Yb$. Это известково-щелочные, умеренно- и высококалиевые образования с натриевым и калиево-натриевым типом щелочности и с низкими содержаниями фосфора и титана. Они являются постколлизийными, железистыми гранитами с характеристиками близкими к гранитам А-типа, но отличаются более низкими концентрациями Zr, Nb, Ce, Y . Следует отметить, что по ряду показателей граниты КК и ПК существенно различаются между собой. Граниты КК, исходя из положения ФТ на ДД $Y-Nb-Ce; Sc/Nb - Y/Nb, Yb-Eu$, являются гранитами А2 типа (Y/Nb 3,1). Их исходные расплавы формировались на глубинах 24–28 км ($P=8$ кбар). Считается, что граниты подтипа А2 с $Y/Nb > 1,2$ могут иметь разные источники: 1 – существенно коровый; 2 – со значительным количеством мантийной компоненты. В нашем случае глубина формирования может указывать на коровый источник КК. Отрицательная европиевая аномалия $Eu/Eu^* 0,2-0,6$ позволяет предполагать, что в процессе дифференциации расплава (или при плавлении протолита) имело место фракционирование плагиоклаза, слабо дифференцированный спектр $HREE$ указывает на отсутствие в источнике остаточного граната и/или роговой обманки. С гранитами КК ассоциирует жильное полиметаллическое оруденение (месторождение Эльбрусское, Даутское). Жильные тела, локализованы преимущественно в гранитах и во вмещающих их сланцах, быстро выклиниваются. Основные рудные минералы – галенит, сфалерит; в меньших количествах присутствуют арсенопирит, пирит, халькопирит [Вольфсон, Лезин, 1960]. В горных выработках отмечались барит, реальгар и аурипигмент. Отметим, что с подобными умеренно-щелочными, двуполевошпатовыми лейкогранитами со сферолитовой микроструктурой ассоциирует жильное полиметаллическое оруденение в Рудном и Горном Алтае, Забайкалье, Монголии и Китае [Гусев, Кузубов, 2001; Li et al., 2014]. Граниты ПК являются гранитами А1-типа (Y/Nb 0,8). Их исходные расплавы формировались на глубинах 45–48 км ($P=15-16$ кбар). Известно, что граниты подтипа А1 с $Y/Nb < 1,2$ могут образоваться из источников с геохимическими характеристиками базальтов океанических островов (ОИВ) [Eby, 1990; Bonin, 2007; Savko et al., 2014; Jiang et al., 2018]. В нашем случае Gd_n/Yb_n 1,6–66 указывает на присутствие в рестите граната. Предполагается также, что низкие концентрации Zr, Nb, Ce, Y могут быть связаны с плавлением эклогитового протолита. Геохимия эклогитов Кавказа приведена в статье [Газеев и др., 2020]. С гранитами ПК связаны зоны развития гидрослюдисто-кварцевых метасоматитов мощностью до 300 м. Рудные минералы в метасоматитах представлены арсенопиритом, леллингитом, пиритом, пирротинном, халькопиритом, сфалеритом и галенитом [Карпушин, 1974].

В зоне развития гранитоидов отмечаются рудопроявления *U*, *Au*, [Лаврищев и др., 2000]. Выявленные различия в гранитах КК и ПК, а именно глубина формирования и источники расплава, на наш взгляд, требуют обсуждения. Отметим, что в карбонное время магматизм в зоне Передового хребта (ПХ) БК заметно различается. На западе распространены такие локальные комплексы как «заканский» монцодиоритовый плутонический (C_1), «пскентский» гипабиссальный монцодиорит–гранитный (C_2), «толстобугорский» риолитовый вулканический (C_2), «ятыргвартинский» диорит–гранитный (C_3). На востоке ПХ это гипабиссальные образования «кубанского» гранитного (C_3), «чучхурского» диорит–гранодиоритового ($P_{2,3}$) комплексов, неоген-четвертичного магматизма и на сопряженных территориях триасового и раннеюрского вулканизма. По нашему мнению, магматизм в восточной части ПХ и на сопредельных с ним территориях контролируется зоной Транскавказского поперечного поднятия (ТПП). Эта структура, пересекающая подвижный альпийский пояс в верхней мантии сопровождается зоной пониженных скоростей, а также приподнятым положением границы Мохоровичича, и повышенным тепловым потоком [Шолпо, 1978; Большой Кавказ..., 2007]. Известно, что возникновение известково-щелочных расплавов мантийного генезиса на поздне-, вплоть до постколлизиионной стадии, может быть результатом термальной релаксации в нижней части коры и адиабатической декомпрессии в верхней мантии. Подобные проявления магматизма известны в Альпийских и Герцинских (Западная Европа) коллизиионных зонах и в некоторых случаях происходили через 40–50 млн лет после коллизии. Постколлизиионная стадия обычно характеризуется развитием щелочных интрузий, которые могут выплавляться из мантийной литосферы вблизи коллизиионных зон [Остроумова и др., 1995]. Появление гранитов ПК, по-видимому, связано с подобной термальной релаксацией в нижней части коры и плавлением существенно эклогитового протолита.

Выводы

Изучены петрохимические особенности позднекарбонных гранитов и лейкогранитов Передового хребта Большого Кавказа. Установлено, что они представлены известково-щелочными, умеренно- и высококалиевыми, разновидностями с натриевым и калиево-натриевым типом щелочности. Показано, что они являются постколлизиионными, железистыми гранитами с характеристиками близкими к гранитам А-типа. Их формирование происходило в геодинамических условиях активной континентальной окраины. Показано, что лейкограниты «кубанского» комплекса относятся к подтипу А2. Предполагается, что их расплавы формировались при плавлении корового субстрата, на глубинах 24–28 км и связаны с тепловым потоком зоны Транскавказского поперечного поднятия. Граниты и лейкограниты «пскентского» комплекса относятся к подтипу А1. Предполагается, что их образование связано с процессом термальной релаксации в условиях нижней коры на глубинах 45–48 км, и плавлением существенно эклогитового протолита.

Литература

1. Большой Кавказ в альпийскую эпоху / Ред. Ю.Г. Леонов. М: ГЕОС. – 2007. – 368 с.
2. Вольфсон Ф.И. Лезин С.Н. Основные черты структуры свинцово-цинковых месторождений Эльбурского рудного поля. // Геология рудных месторождений. – 1960. – № 1. – С. 55–60.

3. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Герасимов В.Ю. Эклогиты Большого Кавказа (природа протолита и его геодинамическая типизация). // *Геология и геофизика Юга России*. – 2020. – №1. – С. 6–21.
4. Гребенщиков А.В. Гранитоиды А-типа проблемы диагностики, формирования и системетики. // *Геология и геофизика*. – 2014. – Т. 55. № 9. – С. 1356–1373.
5. Греков И.И. Пруцкий Н.И. Проблемы геодинамики и металлогении Центрального Кавказа в позднегерцинский – триасовый этап развития Северного Кавказа. // *Сборник научных трудов «Проблемы геологии и геоэкологии Южно-Российского региона»*. Новочеркасск: НАБЛА, – 2001. С. 4–15.
6. Гусев А.И. Кузубов П.П. Петрогенетические типы и флюидалный режим палеозойских гранитоидов Большого Кавказа. // *Отечественная геология*. 2001. – № 2. – С. 42–48.
7. Гусев Г.С., Кудрявцев Ю.К., Гушин А.В. Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. М: ВСЕГЕИ, – 1999. 538 с.
8. Карпушин В.М. Позднепалеозойский кислый магматизм Бессеско-Марухской геолого-структурной зоны Северного Кавказа в междуречье Большой Лабы – Урупа. // *Известия Академии наук СССР. Серия геологическая*. – 1974. – № 2. – С. 51–70.
9. Лаврищев В.А., Пруцкий Н.И., Семенов В.М., и др. Государственная геологическая карта РФ. К-37-V (Красная поляна). Серия: Кавказская, второе издание. СПб.: ВСЕГЕИ. Объяснительная Записка, – 2001. 204 с.
10. Остроумова А.С., Станкевич Е.К., Ценер И.Я., Соболев А.О., Путинцев А.В. Петрологическое изучение магматических ассоциаций коллизионных обстановок. / Отв. ред. Гусев Г.С. М: ВСЕГЕИ, – 1995. 217 с.
11. Туркина О.М. Модельные геохимические типы тоналит-трондьемитовых расплавов и их природные эквиваленты. // *Геохимия*. – 2000. – № 7. – С. 704–717.
12. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. Новосибирск: РИЦ НГУ, – 2014. 118 с.
13. Шолпо В.Н. Альпийская геодинамика Большого Кавказа. М.: Недра, – 1978. 160 с.
14. Bonin B. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects. // *Lithos*. – 2007. – Vol. 97. – pp. 1–29.
15. Whalen B., Currie K.L., Chappell B.W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 1987. – Vol. 95. – pp. 407–419.
16. Eby G.N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. // *Lithos*. – 1990. – Vol. 26. – pp. 115–134.
17. Eby G.N. Chemical subdivision of the A-type granitoids petrogenetic and tectonic implications. // *Geology*. – 1992. – Vol. 20. – pp. 641–644.
18. Jiang X.Y., Luo J.C., Guo J., Wu K., Zhang Z.K., Sun W.D., Xia X.P. Geochemistry of I- and A-type granites of the Qingyang-Jiuhuashan complex, eastern China: Insights into early cretaceous multistage magmatism. // *Lithos*. – 2018. – Vols. 316-317. – pp. 278–294.
19. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J. A geochemical classification for Granitic Rocks. // *Journal of Petrology*. – 2001. – Vol. 42. Issue 11. – pp. 515–518.
20. 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.
21. 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.
22. Li H., Watanabe K., Yonezu K. Geochemistry of A-type granites in the Huangshaping polymetallic deposit (South Hunan, China): Implications for granite evolution and associated mineralization. // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2014. – Vol. 88. – pp. 149–167.

23. Savko K.A., Samsonov A.V., Larionov A.N., Larionova Yu.O. Paleoproterozoic A- and S-granites in the eastern Voronezh Crystalline Massif: Geochronology, Petrogenesis, and Tectonic Setting of Origin. // *Petrology*. – 2014. – Vol. 22. – pp. 205–233.

24. 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.

References

1. The Greater Caucasus in the Alpine Epoch. Ed. by Yu.G. Leonov. Moscow. GEOS. 2007. 368 p. (in Russ.)

2. Wolfson F.I. Lezin S.N. The main features of the structure of lead – zinc deposits of the Elbrus ore field. *Geology of ore deposits*. 1960. No. 1. pp. 55–60. (in Russ.)

3. Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Gerasimov V.Yu. Eclogites of the Greater Caucasus (the nature of the protolith and its geodynamic typification). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. No. 1. pp. 6–21. (in Russ.)

4. Grebenshchikov A.V. Granitoids of A-type problems of diagnosis, formation and systematics. *Geology and Geophysics*. 2014. Vol. 55. No. 9. pp. 1356–1373. (in Russ.)

5. 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: *Proceedings Problems of geology and geocology of the Southern Russian region*. Novocherkassk. NABLA. 2001. pp. 4–15. (in Russ.)

6. Gusev A.I. Kuzubov P.P. Petrogenetic types and fluid regime of Paleozoic granitoids of the Greater Caucasus. *Russian geology*. 2001. No. 2. pp. 42–48. (in Russ.)

7. Gusev G.S., Kudryavtsev Yu.K., Gushchin A.V. Geochemical and metallogenic specialization of structural and material complexes. Moscow. VSEGEI. 1999. 538 p. (in Russ.)

8. Karpushin V.M. Late Paleozoic acid magmatism of the Besskesco–Marukhsкая geological and structural zone of the North Caucasus in the interfluvium of Bolshaya Laba – Urup. *Izvestia of the Russian Academy of Sciences USSR. Geological Series*. 1974. No. 2. pp. 51–70. (in Russ.)

9. Lavrishchev V.A., Prutsky N.I., Semenov V.M., et al. State Geological Map of the Russian Federation. K-37-V (Krasnaya Polyana). Series: Caucasian. Second edition. St. Petersburg. VSEGEI. Explanatory Note. 2001. 204 p. (in Russ.)

10. Ostroumova A.S., Stankevich E.K., Center I.Ya., Sobolev A.O., Putintsev A.V. Petrological study of magmatic associations of collision environments. Ed. by Gusev G.S. Moscow. VSEGEI. 1995. 162 p. (in Russ.)

11. Turkina O.M. Model geochemical types of tonalite–trondyemite melts and their natural equivalents *Geochemistry*. 2000. No. 7. pp. 704–717. (in Russ.)

12. Turkina O.M. Lectures on the geochemistry of magmatic and metamorphic processes. Novosibirsk. RIC NGU. 2014. 118 p. (in Russ.)

13. Sholpo V.N. Alpine geodynamics of the Greater Caucasus. Moscow. Nedra. 1978. 160 p. (in Russ.)

14. Bonin B. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects. *Lithos*. 2007. Vol. 97. pp. 1–29.

15. Whalen B., Currie K.L., Chappell B.W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1987. Vol. 95. pp. 407–419.

16. Eby G.N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*. 1990. Vol. 26. pp. 115–134.

17. Eby G.N. Chemical subdivision of the A-type granitoids petrogenetic and tectonic implications. *Geology*. 1992. Vol. 20. pp. 641–644.

18. Jiang X.Y., Luo J.C., Guo J., Wu K., Zhang Z.K., Sun W.D., Xia X.P. Geochemistry of I- and A-type granites of the Qingyang-Jiuhuashan complex, eastern China: Insights into early Cretaceous multistage magmatism. *Lithos*. 2018. Vols. 316–317. pp. 278–294.

19. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J. A geochemical classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology*. 2001. Vol. 42. Issue 11. pp. 515–518.
20. 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.
21. 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.
22. Li H., Watanabe K., Yonezu K. Geochemistry of A-type granites in the Huangshaping polymetallic deposit (South Hunan, China): Implications for granite evolution and associated mineralization. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2014. Vol. 88. pp. 149–167.
23. Savko K.A., Samsonov A.V., Larionov A.N., Larionova Yu.O. Paleoproterozoic A- and S-granites in the eastern Voronezh Crystalline Massif: Geochronology, Petrogenesis, and Tectonic Setting of Origin. *Petrology*. 2014. Vol. 22. pp. 205–233.
24. 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.