ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.323.5
DOI: 10.46698/VNC.2026.55.63.001

Оригинальная статья

Среднепалеозойские адакитовые гранитоиды кристаллического основания Передового хребта Большого Кавказа

В.М. Газеев[1,2], **И.А. Кондрашов**[1]

[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: 28.01.2026, доработана: 23.07.2026, принята к публикации: 27.07.2026

Резюме: Актуальность работы. Изучение гранитов зоны Передового хребта Большого Кавказа, сформировавшихся в среднем палеозое, – интересная и важная задача в связи с тем, что с ними в регионе ассоциируют рудные объекты с молибденовой и вольфрамовой минерализацией. **Целью исследования** является получение аналитических данных, уточнение геодинамической позиции и рудной специализации среднепалеозойских гранитоидов. **Объектами исследований** являлись массивы гранитогнейсов, обнажающиеся в кристаллическом основании Передового хребта Большого Кавказа, в междуречье Большой и Малой Лабы. **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 гранитогнейсы являются нормально- и умереннощелочными, умеренно- и высокомагнезиальными, умереннокалиевыми образованиями. Показано, что они являются гранитоидами адакитового типа, характеризуются высокими содержаниями Na_2O, *Ba, Sr, LiLe, LREE* и высокими величинами *Sr/Y (60 – 190)* и $La_н/Yb_н$ (13 – 40) отношений, при пониженных содержаниях *CaO, HFSE, HREE, Y, Yb*. Предполагается, что их исходные расплавы формировались в надсубдукционных условиях на значительных глубинах (Р15–16 кбар). Плавящимся протолитом являлись нижнекоровые, гранатовые амфиболиты при термальном и флюидном участии субдуцированной океанической коры. Отмечено, что с породами ассоциирует гидротермальное оруденение кварц-шеелитовой формации.

Ключевые слова: геодинамика, граниты, адакиты, геохимия, минерагения.

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 финансовой поддержке НИОКР КНИО ВНЦ РАН (рег. № 125022803010-6).*

Для цитирования: Газеев В.М., Кондрашов И.А. Среднепалеозойские адакитовые гранитоиды кристаллического основания Передового хребта Большого Кавказа. *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(3): 8–21. DOI: 10.46698/VNC.2026.55.63.001

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

DOI: 10.46698/VNC.2026.55.63.001

Original paper

Middle Paleozoic adakite granitoids of the crystalline basement of the Foreland Range of the Greater Caucasus

V.M. Gazeev[1,2], **I.A. Kondrashov**[1]

[1] Institute of Geology of Ore Deposits, 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: 28.01.2026, revised: 23.07.2026, accepted: 27.07.2026

Abstract: Relevance. The study of granites in the Foreland Range of the Greater Caucasus, which were formed in the middle Paleozoic, is an interesting and important task due to the fact that ore objects with molybdenum and tungsten mineralization are associated with them in the region. **The aim** of the study is to obtain analytical data and to clarify the geodynamic position and ore specialization of middle Paleozoic granitoids. **The objects of research** were the granitogneiss masses exposed in the crystalline basement of the Foreland Range of the Greater Caucasus in the interfluve of the Bolshaya and Malaya Laba rivers. **The research methods** included: study the composition of the selected samples by *XRF, ICP-MS* methods, their petrographic description, calculating geochemical characteristics, and analyzing discrimination diagrams. **Results.** It has been established that granitogneisses are normally and moderately alkaline, moderately and highly magnesian, and moderately potassium formations. It has been shown that they are adakitic granitoids characterized by high contents of Na_2O, *Ba, Sr, LiLe, LREE,* and high *Sr/Y* 60–190 and $La_н/Yb_н$ 13 – 40 ratios, with *low CaO, HFSE, HREE, Y,* and *Yb*. It is assumed that their initial melts were formed in supra-subduction conditions at significant depths (P15–16 kbar). The melting protolith was a lower-crustal garnet amphibolite, with thermal and fluid participation of the subducted oceanic crust. It has been noted that the hydrothermal mineralization of the quartz-scheelite formation is associated with the rocks.

Keywords: geodynamics, granites, adakites, geochemistry, mineral genesis.

Acknowledgments: *The work was carried out within the framework of the Basic Theme of the Petrology Laboratory of the IGEM RAS "Petrology of Magmatic Complexes for Reconstruction of Geodynamic Modes of Formation of the East European Craton" (reg. No. FMMN-2024-0014.124022400143-9) and financial support from the NIOKR KNIO VSC RAS (reg. No. 125022803010-6).*

For citation: Gazeev V.M., Kondrashov I.A. Middle Paleozoic adakite granitoids of the crystalline basement of the Foreland Range of the Greater Caucasus. *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2026. 16(3): 8–21. DOI: 10.46698/VNC.2026.55.63.001

Введение

Петролого-геохимическое изучение гранитов кристаллического основания Передового хребта (ПХ) Большого Кавказа (БК), сформировавшихся в среднем палеозое, является важной задачей. Ее актуальность определяется тем, что с ними пространственно ассоциирует Большеблыбское шеелитовое месторождение и рудопроявления с вольфрам-молибден-полиметаллической минерализацией. **Целью исследования** было изучение геохимических особенностей гранитогнейсов, залегающих среди пород армовского, балканского и бескесского метаморфических комплексов, в междуречье Большой и Малой Лабы (рис. 1).

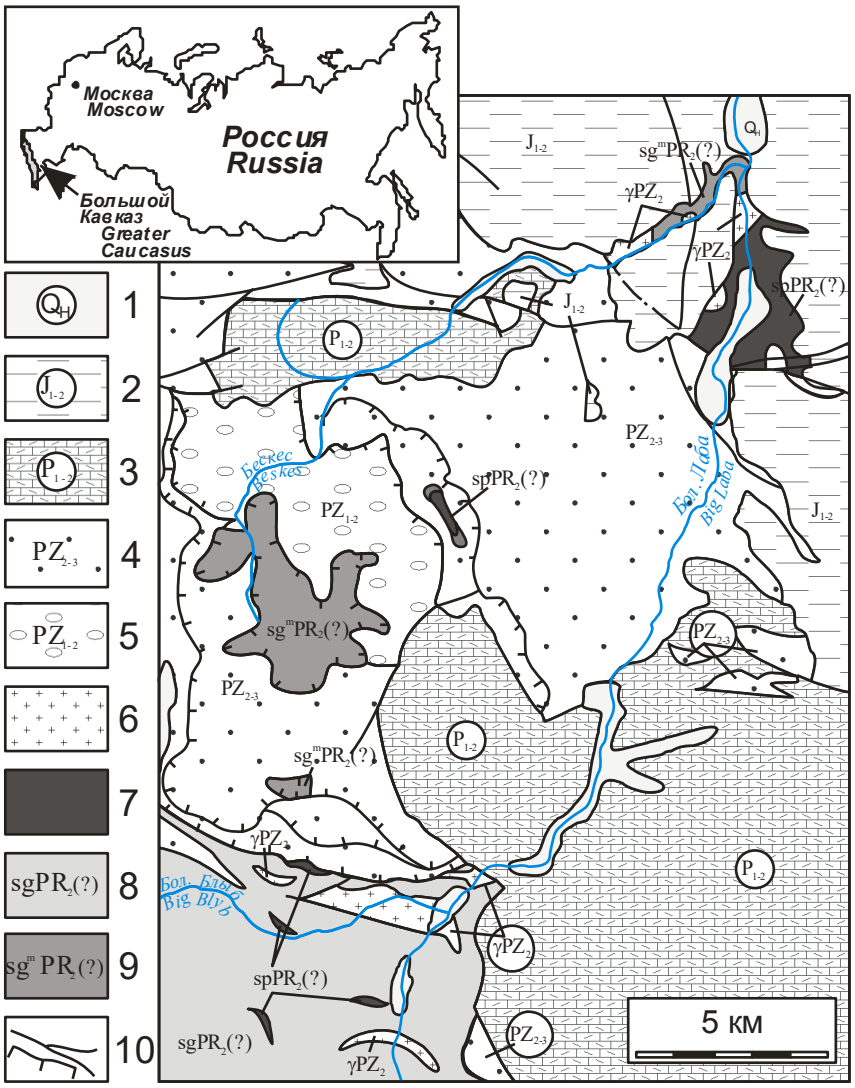


Рис. 1. Схематичная геологическая карта района распространения интрузий среднепалеозойских гранитоидов в долине р. Большая Лаба (по материалам ФГУГП «Кавказгеолсъемка», лист К-37-V. 2002 г).

Условные обозначения: 1–5. Разновозрастные толщи вулканогенных и осадочных пород: 1 – четвертичные; 2 – ранне-среднеюрские (Аргиллиты рассланцованные с прослоями алевролитов и кварцевых песчаников. Песчаники кварцевые, туфопесчаники с линзами гравелитов, прослои алевролитов, аргиллитов и туфов андезитов); 3 – пермские (Мраморизованные известняки светло-серые и темные с прослоями глинистых сланцев. Гравелиты, песчаники и конгломераты с прослоями алевролитов); 4 – средне- и позднепалеозойские (амфиболит-сланцевый метакомплекс); 5 – ранне-среднепалеозойские (амфиболит-гнейсовый метакомплекс). 6–7. Магматические породы: 6 – граниты, гранодиориты; 7 – серпентиниты. 8–9. Метаморфические породы: 8 – амфиболиты, гнейсы; 9 – кристаллические сланцы. 10 – геологические границы /

Fig. 1. Schematic geological map of the area of intrusions of middle paleozoic granitoids in the Bolshaya Laba river valley (based on the materials of the FGUGP "Kavkazgeols'emka", sheet K-37-V. 2002).

Legend. 1–5. Heterogeneous strata of volcanic and sedimentary rocks: 1 – Quaternary; 2 – early-middle Jurassic (Laminated mudstones with interbeds of siltstones and quartz sandstones. Quartz sandstones, tuff sandstones with lenses of gravelites, interlayers of siltstones, mudstones and tuffs of andesites); 3 – Permian (Marbled limestones are light gray and dark with interlayers of clay shales. Gravelites, sandstones and conglomerates with siltstone interbeds); 4 – middle and late Paleozoic (amphibolite-gneiss metacomplex); 5 – early-middle Paleozoic (amphibolite-shale metacomplex). 6–7. Igneous rocks: 6 – granites, granodiorites; 7 – serpentinites. 8–9. Metamorphic rocks: 8 – amphibolites, gneisses; 9 – crystal schists. 10 – Geological boundaries

Определение их петрохимического типа, минерагенической специализации и реконструкция геодинамических условий, существовавших в регионе в период формирования пород. **Объектами для исследования** выбраны 2 массива, вскрытые эрозионной деятельностью р. Большая Лаба и её притоков. 1 – Массив р. Большой Блыб, размером до 5 км^2 сложенный гранодиоритами и плагиогранитами. По внешнему облику это серые, зеленовато-серые, иногда розоватые средне- и мелкозернистые породы с гнейсовидной текстурой. Поздние фазы представлены секущими телами аплитов, пегматитов и их производными кварц-мусковитовыми жилами. Величины стронциевых отношений (Sr^{87}/ Sr^{86}) в породах варьируют в пределах от 0,70407 до 0,70442 [Gurbanov et al., 1994]. Характерной особенностью пород является высокое содержание стронция, что приводит к появлению в пегматитах стронцийсодержащего цоизита и целестина [Афанасьев и др., 1976]. С породами массива пространственно ассоциирует Блыбское шеелитовое месторождение и ряд рудопроявлений вольфрама [Gurbanov et al., 1994; Глазырин, 2004]. 2 – Массив р. Мощевой размером до 5 км^2 расположен в 22–23 км, севернее первого. Сложен он среднезернистыми серыми и розоватыми гранитами с отчетливо выраженной гнейсовидной текстурой. Поздние фазы представлены аплитами.

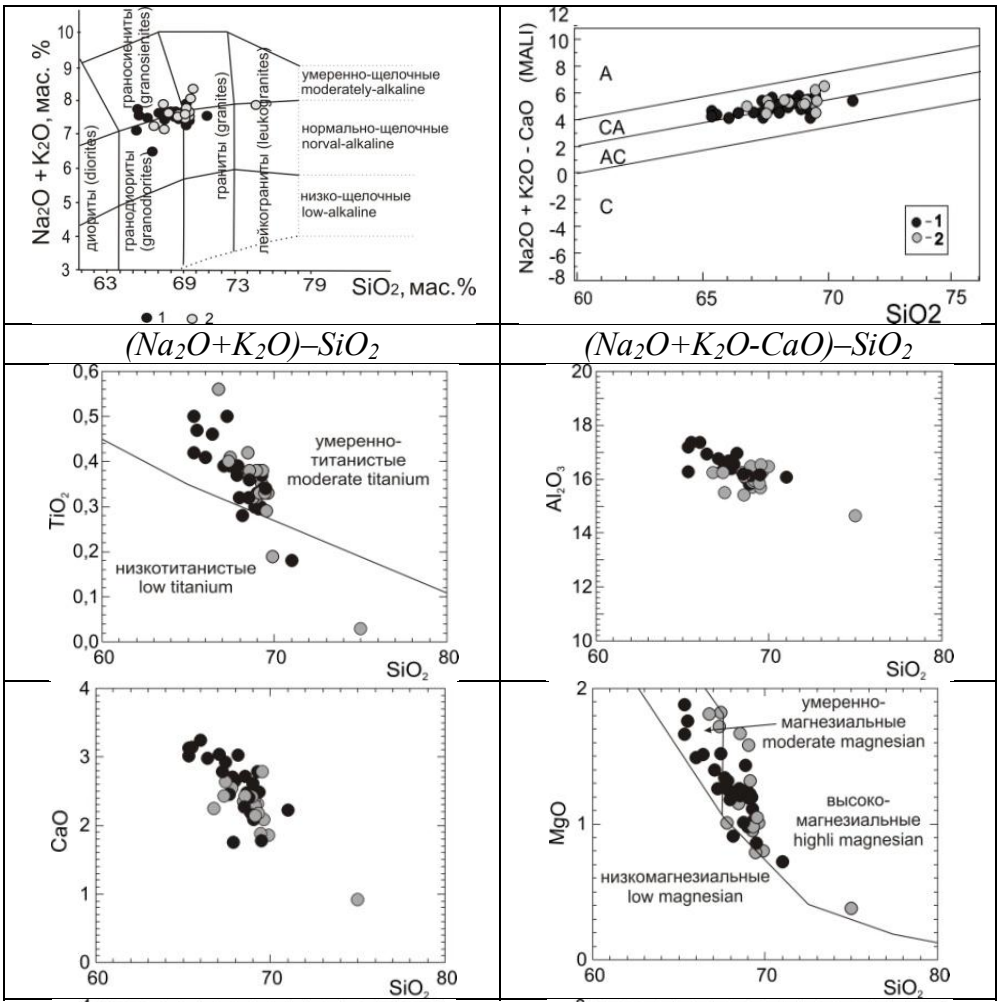
Возраст пород все еще остается дискуссионным. На основании наиболее древних датировок (T = 400–460 Ma (*Sm-Nd*), T = 350–380–450 Ma (*K-Ar*), T = 376–470 Ma (*Rb-Sr*)) он предполагается раннепалеозойским (ордовик), что отражено на геологической карте *K-37-V* [Лаврищев и др., 2002]. Новые данные о возрасте пород армовского и бескесского метаморфических комплексов [Омельченко, 2021] позволяют относить их к среднепалеозойским образованиям. Исследования по цирконометрии показывают, что возраст магматической стадии гранитогнейсов, вероятно, был девонским, около 390 Ma [Somin, 2011], и в последующем породы претерпели метаморфические изменения в поздневарисцийскую эпоху, около 285 млн лет назад [Чернышев и др., 1987].

Материал и методы его исследования

Изучена коллекция образцов, собранная в 2020 году по бортам долины р. Большая Лаба и ее притокам: Большой Блыб, Мощевой. Аналитические данные получены в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика» методами рентгенофлуоресцентного анализа (*XRF*) на спектрометре «Респект-100» (8 проб) и спектроскопии с индукционно-связанной плазмой (*ICP-MS*) на масс-спектрометре *X-Series II* (13 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. При построении диаграмм дополнительно использованы результаты анализов (36 проб), полученные в разные годы А.Г. Гурбановым. Анализы по массиву р. Мощевой были выполнены методом *XRF* на квантометре *CPM-25* и инструментальным нейтронно-активационным методом в Лаборатории ядерно-физических исследований ИГЕМ РАН. Анализы по массиву р. Большой Блыб были выполнены на рентгеноспектрометре (*PHILIPPS PW1400*) в Институте геологических наук и изучения литосферы г. Гессена (Германия).

Полученные результаты. На классификационной диаграмме $(Na_2O+K_2O) – SiO_2$ (рис. 2) фигуративные точки (ФТ) составов изученных пород располагаются в полях гранодиоритов и гранитов. Гранодиориты и граниты встречаются совместно и сложены они единым набором минералов, которые представлены обычно не зональным плагиоклазом (альбит, олигоклаз), деформированным кварцем, микроклином, мусковитом, клиноцоизитом; реже отмечается хлорит, цоизит, эпидот, карбонат. Акцессорные минералы: сфен, апатит, циркон. Для пород массива р. Мощевой характерна преимущественно плейрогнейсовая структура, обусловленная развитием в индивидах плагиоклаза обильных новообразований, представленных мусковитом и, реже, клиноцоизитом.

Ориентировка пластинок слюды часто зависит от кристаллографических элементов плагиоклаза. Появление такой структуры связывают с ретроградным метаморфизмом пород, при котором плагиоклаз средней основности замещается альбитом, цоизитом и слюдой. Текстура гнейсовая, линзовидно-полосчатая. Отмечаются участки с гранобластовой структурой, сложенные ксеноморфными субизометричными кристаллами незонального альбит-олигоклаза, иногда с включениями слюды (реликтовые фрагменты плейрогнейсовой структуры) и катаклазированного кварца, а также более слюдистые линзовидные участки обогащенные мусковитом, клиноцоизитом, сфеном, хлоритом с лепидогранобластовой структурой. Массив р. Большой Блыб обладает аналогичным минералогическим составом пород и структурно-текстурными характеристиками. Более ранний этап – плейрогнейсовый узор. В дальнейшем в связи с наложенными деформациями развиваются типично метаморфические грано- и лепидогранобластовые структурные узоры с реликтовыми плейрогнейсовыми участками. На диаграмме *(Na_2O+K_2O–CaO) – SiO_2* [Frost et al., 2001] (рис. 2) ФТ пород группируются по линии разделяющей поля щелочно-известковистых и известково-щелочных гранитоидов Na_2O+K_2O от 7,12% до 8,31% (табл. 1) $\sum(Na_2O+K_2O)$/n 7,61%, n=75. На диаграммах *SiO_2 – петрогенные элементы* отмечается, что породы относятся к умереннотитанистым; умеренно- и высокомагнезиальным $Mg^{\#}$ 0,42–0,62; умереннокалиевым образованиям K_2O от 1,75 до 2,95 ($\sum K_2O$/n = 2,34%). Они характеризуются низкими содержаниями CaO 1,75–3,03 ($\sum CaO$/n = 2,24%) и высокими содержаниями Na_2O 4,28–5,64 ($\sum Na_2O$/n = 5,27%). Это пересыщенные глиноземом (CaO + Na_2O + K_2O)<Al_2O_3; Al^1=4,28 породы с калиево-натриевым типом щелочности Na_2O/K_2O 1,54–3,22.



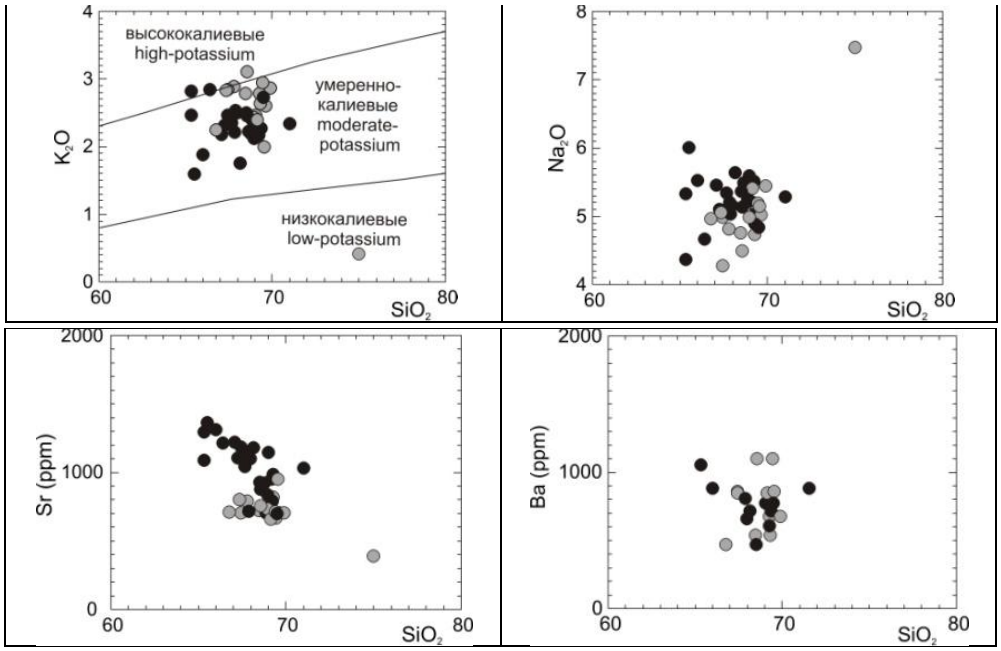


Рис. 2. Составы пород на классификационных диаграммах и диаграммах концентраций петрогенных компонентов (в мас. %). Условные обозначения: 1 – гранитоидный массив р. Большой Блыб, 2 – гранитоидный массив р. Мощевой. На диаграмме (Na_2O+K_2O-CaO)–SiO_2 поля гранитоидов: С – известковистых, АС – щелочно-известковистых, СА – известково-щелочных, А – щелочных /

Fig. 2. Rock compositions on classification diagrams and diagrams of concentrations of petrogenic components (in wt %). Legend: 1 – Bolshoy Blyb river granitoid massif, 2 – Moshcheva river granitoid massif. In the diagram (Na_2O+K_2O-CaO)–SiO_2 the fields of granitoids: C – calcareous, AC – alkaline-calcareous, CA – calcareous-alkaline, A – alkaline

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	71/20	73/20	75/20	77/20	78/20	65/20	67/20	69/20
SiO_2	69,47	68,16	67,87	65,31	68,5	69,87	69,44	67,41
TiO_2	0,34	0,28	0,39	0,5	0,32	0,19	0,33	0,41
Al_2O_3	16,15	16,97	16,71	16,27	16,19	16,32	15,85	15,49
Fe_2O_3	2,31	2,03	2,61	3,43	1,55	1,34	2,21	3,11
MnO	0,03	0,03	0,03	0,05	0,4	0,02	0,04	0,05
MgO	0,86	0,91	1,25	1,88	1,26	0,8	0,79	1,82
CaO	1,78	3,03	1,75	3,01	2,27	1,86	1,88	2,64
Na_2O	4,84	5,64	5,03	4,37	5,36	5,44	5,19	4,28
K_2O	2,73	1,75	2,53	2,82	2,5	2,87	2,95	2,84
P_2O_5	0,15	0,08	0,19	0,25	0,15	0,07	0,14	0,22
Ппп /LOI	1,01	0,76	1,30	1,65	1,4	0,92	0,79	1,36
Сумма / Total	99,67	99,64	99,66	99,54	99,9	99,7	99,61	99,63
Cr	25	30	30	52	10	31	15	47
V	47	41	52	62	55	32	44	64
Co	4,2	4,73	6,26	9,73	5,96	2,62	3,56	6,76

Ni	12	20	24	30	5	19	13	29
Cu	13	24	41	22	15	13	14	10
Zn	50	34	47	68	58	31	39	55
Pb	26	31	16	33	21	37	21	45
Rb	83	38	61	62	54	76	68	75
Sr	705	1265	785	1194	685	650	735	686
Ba	1067	950	1066	1353	500	966	1386	1132
Zr	117	100	122	131	140	71	108	117
Y	6,51	5,06	4,3	7,78	5,82	3,08	14,14	9,17
Li	8,11	11,2	26,1	20,3	14,6	12,4	10,4	20,2
Be	2,28	1,73	1,96	2,55	1,75	2,64	2,52	3,08
Sc	1,18	1,72	3,41	5,17	4,28	0,48	3,59	3,9
Ti	2024	1623	2378	3012	2703	974	1864	2492
Nb	4,04	2,92	2,73	4,88	2,31	1,93	9,24	7,34
Mo	0,9	0,61	1,03	1,24	0,3	0,87	1,24	0,68
Ga	16,7	16,8	18,8	21,2	15,9	14,8	18,0	16,7
Cs	3,5	0,98	2,0	2,28	1,37	1,73	1,49	2,01
La	20,9	17,6	6,7	14,3	26,9	13,7	21,9	46,6
Ce	31,1	39,9	26,8	35,6	52,8	15,8	30,4	36,2
Pr	3,96	4,68	2,58	4,5	6,83	2,09	3,71	4,47
Nd	15,3	17,4	10,0	17,8	23,3	7,5	14,43	17,62
Sm	2,88	2,85	2,03	3,42	3,72	1,28	2,92	3,24
Eu	0,85	0,9	0,75	1,05	0,96	0,6	0,96	0,94
Gd	2,17	1,91	1,56	2,46	2,28	0,98	2,49	2,39
Tb	0,27	0,23	0,2	0,31	0,3	0,12	0,4	0,32
Dy	1,35	1,1	1,02	1,62	1,2	0,6	2,45	1,65
Ho	0,23	0,19	0,18	0,29	0,25	0,12	0,48	0,33
Er	0,65	0,5	0,43	0,75	0,54	0,3	1,41	0,92
Tm	0,08	0,07	0,06	0,1	0,09	0,04	0,19	0,14
Yb	0,53	0,42	0,37	0,65	0,55	0,28	1,2	0,9
Lu	0,08	0,07	0,06	0,1	0,1	0,05	0,16	0,14
Hf	3,24	2,71	3,18	3,66	4,12	2,03	3,04	3,53
Ta	0,3	0,23	0,13	0,34	0,21	0,15	1,64	0,47
W	0,5	0,3	0,3	0,3	0,02	0,5	0,3	0,3
Bi	0,07	0,03	0,07	0,15	0,05	0,02	0,12	0,05
Th	5,8	5,3	3,5	3,8	8,4	4,2	5,5	6,3
U	1,2	1,3	1,2	1,7	2,9	1,0	2,9	3,8

Примечание: 69, 73, 75, 77, 78/20 гранодиориты; 65,67,71/20 граниты. Место отбора образцов: 71, 73, 75, 77, 78/20 р. Большой Блыб; 65, 67, 69/20 р. Мощевая. XRF Cr-Y; ICP-MS Li-U / Note: 69, 73, 75, 77, 78/20 granodiorites, 65,67,71/20 granites. Sampling location: 71, 73, 75, 77, 78/20 p. Large Blyb river; 65, 67, 69/20 Mostovaea river. XRF Cr-Y; ICP-MS Li-U.

Индикаторные отношения геохимически сходных элементов *Zr/Hf* = 33 и *K/Rb* = 365 указывают на возможную дифференциацию расплавов, а *U/Th* (0,39) <1 – на неизменность составов пород вторичными процессами. На дискриминационной диаграмме (ДД) *Rb/30 – Hf – Ta×3* [Harris et al., 1986] (рис. 3) ФТ ЧК группируются в поле VAG гранитов вулканических дуг. Следует отметить, что ФТ расположенные в полях (Post-COLG;WPG), характеризуют образцы, отобранные вблизи пегматитовых и кварц-мусковитовых прожилков.

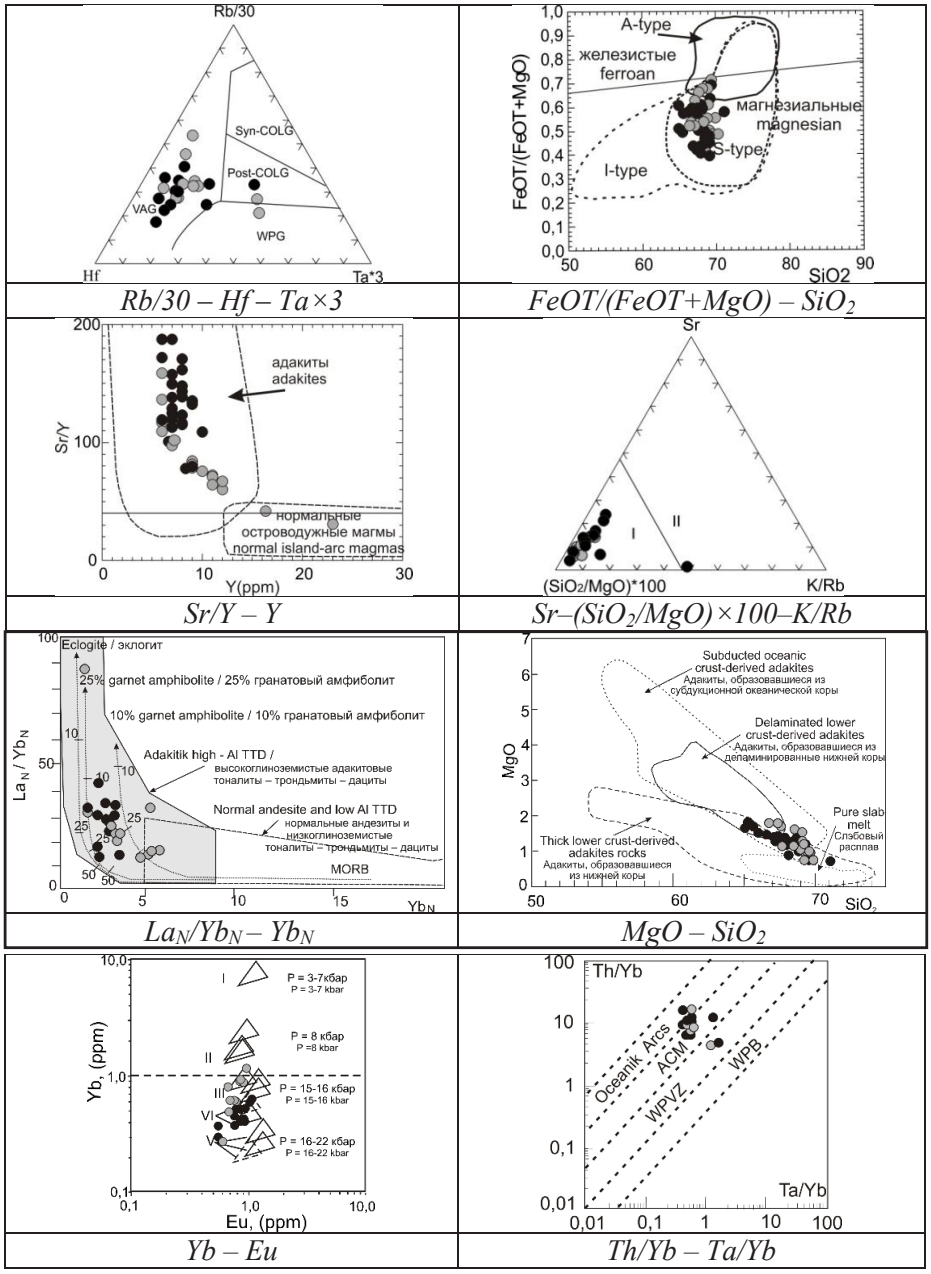


Рис. 3. Составы пород на петрогенетических диаграммах.
Условные обозначения: На диаграммах Rb–(Y+Nb), Rb/30 – Hf – Ta×3:
VAG – граниты вулканических дуг, syn-COLG – граниты синколлизионные,
post-COLG – граниты постколлизионные, WPG – граниты внутриплитные.
На Sr–(SiO_2/MgO)×100–K/Rb поля адакитов: I – высококремнистых, II – низкокремнистых.
На La_N/Yb_N – Yb_N поля: Adakitik high – Al TTD высокоглиноземистые адакитовые тоналиты – трондьмиты – дациты; Normal andesite and low Al TTD – нормальные андезиты и низкоглиноземистые тоналиты – трондьмиты – дациты. На Yb – Eu P – давление в кбар;
На Th/Yb – Ta/Yb Oceanic Arcs – океанических дуг, ACM – активных континентальных окраин, WPVZ – внутриплитных вулканических зон, WPB – внутриплитных базальтов /

Fig. 3. Rock compositions on petrogenetic diagrams. Legend: On the diagrams Rb–(Y+Nb), Rb/30 – Hf – Ta×3: VAG – granites of volcanic arcs, syn-COLG – syncollisional granites, post-COLG – postcollisional granites, WPG – intraplate granites. On Sr–(SiO2/MgO)×100–K/Rb adakite fields: I – high-siliceous, II – low-siliceous. On Yb – Eu, P is the pressure in kbar. On Th/Yb – Ta/Yb Oceanic Arcs – oceanic arcs, ACM – active continental margins, WPVZ – intra-plate volcanic zones, WPB – intra-plate basalts

На ДД *FeOT/(FeOT+MgO) – SiO_2* [Frost et al., 2001] с линией разграничения магнезиальных и железистых гранитоидов, ФТ пород группируются в области магнезиальных образований, в поле гранитов S и I типа. Сравнение содержаний оксидов и типоморфных элементов с эталонами гранитов I, S типа [Туркина, 2014] показывает, что изученные породы отличаются от этих стандартов существенно меньшими содержаниями *CaO, K_2O, Rb, Nb, Ce, Zr, Y* и большими содержаниями *Na_2O, Ba, Sr*. Массив р. Большой Блыб *Na_2O 5,37%, Ba* 685–1265 *(∑Ba/n* = 987 ppm), *Sr* 500–1353 *(∑Sr /n* = 927 ppm); массив р. Мощевой *Na_2O 5,18%,* Ba 966–1386 *(∑Ba /n* = 1161 ppm), Sr 650–735 *(∑Sr /n* = 690 ppm). На ДД *Sr/Y – Y* [Defant, Drummond, 1990] ФТ пород расположены в поле адакитов, а на ДД *Sr–(SiO_2/MgO)×100–K/Rb* [Martin et al., 2005] – в поле высококремнистых адакитов. На ДД *$La_N/Yb_N – Yb_N$* – в поле высокоглиноземистых адакитовых тоналитов – трондьмитов – дацитов [Defant, Drummond, 1990; Xu et al., 2000] вблизи трендов плавления гранатовых амфиболитов. На ДД *MgO – SiO_2* [Gan et al., 2022] ФТ сгруппированы в пограничной зоне между нижнекоровыми адакитами и адакитами, образованными при участии субдуцированной океанической коры. На ДД *Yb – Eu* [Туркина, 2000] ФТ расположены вблизи треугольных полей модельных составов, образующихся в результате плавления исходных пород при давлениях ~ 15–16 кбар, что соответствует ориентировочно глубине 52–56 км. На ДД *Th/Yb – Ta/Yb* [Gorton, Schandl, 2000] ФТ находятся в поле пород океанических островных дуг и активных континентальных окраин. Графики концентрации редкоземельных элементов *(REE)* нормированных по хондриту [Sun, McDonough, 1989] показаны на (рис. 4). *$La_н/Yb_н$* отношение (показатель степени фракционирования *REE)* 13,1–35,9. *$La_н/Sm_н$* 2,0–9,2. *$Gd_н/Yb_н$* 1,7–3,7. *Eu/Eu** где (*Eu*=($Sm_н$+$Gd_н$)/2*) 0,9–1,2. *∑REE* г/т 43–119 *$\sum^{REE}$*/n = 78. На мультиэлементных спайдер-диаграммах, где показаны несовместимые элементы, нормированные по *N-MORB* [Sun, McDonough, 1989], можно отметить: – высокие содержания крупноионных литофильных элементов *Rb*, *Ba, K, Sr (LiLe)*, радиоактивных элементов *Th*, *U*; – пониженные содержания высокозарядных элементов *HFSE*, тяжелых редкоземельных элементов *HREE* и *Y*. А также негативные аномалии *Ta*, *Nb*, *Ti*.

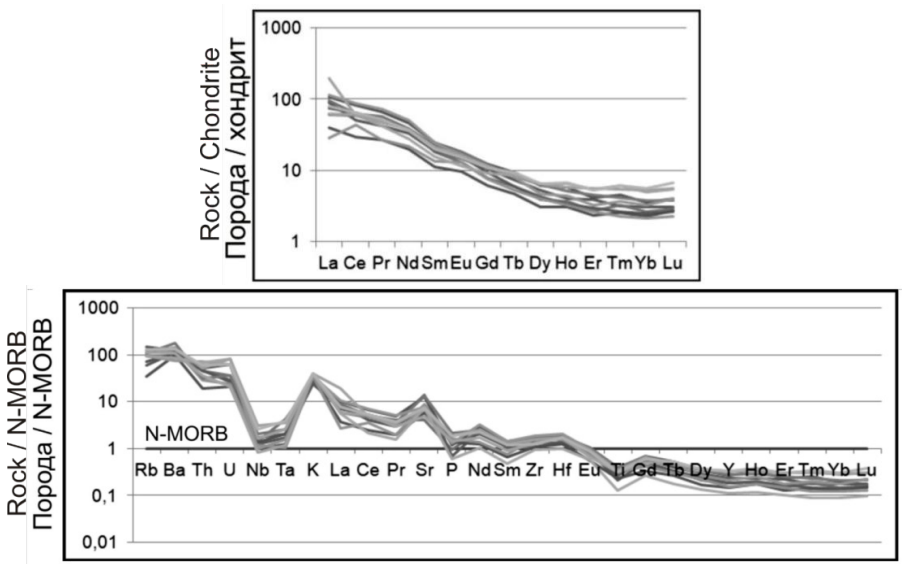


Рис. 4. Составы пород на спайдер-диаграммах.
Концентрации несовместимых элементов нормированы по N – MORB, концентрации REE нормированы к хондриту по [Sun, McDonough, 1989] /

Fig. 4. Composition of rocks on spider diagrams. Concentrations of incompatible elements are normalized by N – MORB, REE concentrations are normalized to chondrite by [Sun, McDonough, 1989]

Ранжированный ряд кларков концентрации (*Кк≥1,0*) рассчитанный по кларкам кислых пород [Гусев и др., 1999] имеет следующий вид: $Sr_{3,3}$; $Ni_{2,1}$; $Pb_{1,3}$; $Cr_{1,2}$; $Cd_{1,1}$; $Ti_{1,0}$; $Ba_{1,0}$; $Ga_{1,0}$. Его сравнение с породами эталонных геодинамических обстановок показывает, что изученные гранитоиды вполне сопоставимы с образованиями зрелых островных дуг и краевых вулкано-плутонических поясов активных континентальных окраин.

Обсуждение результатов

Исходя из вышеописанного гранитогнейсы кристаллического основания ПХ БК, распространенные в Лабинском междуречье, до метаморфических преобразований были типичными ортомагматическими породами, слагавшими небольшие интрузивные тела, становление которых происходило в гипабиссальных условиях. Отсутствие классических магматических структурных узоров с заменой их на плейрогнейсовые и лепидогранобластовые указывает на последующее автометасоматическое и динамометаморфическое (структурное) перерождение пород без существенного изменения исходного состава. На изохимические условия этих преобразований указывает компактное положение фигуративных точек на диаграммах. Гранитогнейсы содержат SiO_2 65–70%, Al_2O_3 15,5–16,9%; характеризуются высокими содержаниями Na_2O, *Ba, Sr, LiLe, LREE,* и высокими значениями характерных отношений *La/Yb, Sr/Y* 60–190, $Mg^{\#}$ 0,42–0,62. Для них также характерны пониженные содержания *CaO, HFSE*, *HREE*, *Y* 3–14 г/т, *Yb* 0,3–1,2 г/т. На петрогенетических диаграммах ФТ пород расположены в полях гранитов адакитового типа. Отметим, что для адакитов показательны высокие содержания: $SiO_2 > 56\%$, $Al_2O_3 > 15\%$, *Sr*, *LiLe, La/Yb*, *Sr/Y* > 40 и низкие – *Y* < 18 г/т и *Yb* < 1,8 г/т; *HFSE* (*Nb,Ta*) и *HREE* [Гусев, 2014; Авдеенко и др., 2011]. Можно предполагать, что формирование пород происходило в условиях активной континентальной окраины либо зрелой островодужной системы за счет расплавов, образовавшихся на значительных глубинах (*P* 15–16 кбар). Плавящимся протолитом являлись нижне-коровые гранатовые амфиболиты при термальном и флюидном участии субдуцированной океанической коры. Известно, что флюидный режим адакитовых магм характеризуется повышенной востановленностью, обогащенностью водой, углекислотой и, иногда, присутствием хлора во флюидах. Такие параметры флюидов адакитовых расплавов благоприятно влияют на их потенциальную рудоносность и специализацию на золото, медь, молибден и др. элементы. Это находит свое подтверждение в том, что с адакитами в различных регионах мира ассоциируют порфировые и эпитермальные, медные и различного типа золоторудные месторождения [Гусев, 2014; Газеев, Кондрашов, 2025]. По данным А.Г. Гурбанова [Gurbanov et al., 1994], Е.А. Глазырина [Глазырин, 2004] и материалам отчета Ростовского университета «Геолого-геохимические и физико-химические условия формирования вольфрамового оруденения Центрального Кавказа», с массивом р. Большой Блыб пространственно ассоциируют средне-высокотемпературное гидротермальное месторождение кварц-шеелитовой формации и ряд рудопроявлений вольфрама и молибдена. Месторождение являлось объектом старательской добычи шеелита в период с 1939 по 1953 гг. На месторождении в пределах эрозионного вреза ~550 м обнажаются кристаллические сланцы, гнейсы, гранодиориты и плагиограниты. Кварцевые жилы встречаются на всем протяжении вреза, а в нижней части в них отмечается полевой шпат, мусковит, стронций, содержащий цоизит, молибденит. Здесь же развит ореол жильных аплитов и пегматитов. С уровня 300–350 м появляются шеелит, кальцит, пирит, пирротин, халькопирит, галенит, реже арсенопирит, а сами жилы подразделяются на кварц-шеелит-сульфидные и кварц-шеелитовые. Мощность жил колеблется от 1–2 см до 0,3 м. Шеелит рассеян по всей массе жил в виде кристаллов (иногда размером до 3–4 см), реже в виде их скоплений

и гнезд до 10 см; также он слагает прожилки параллельные зальбандам. По данным температур декрипитации газово-жидких включений: кварц-шеелитовая формация формировалась при 320–360 °С; сульфидная минерализация – 270–300 °С; безрудный кварц – 200–230 °С. Интересными являются данные по шеелитам. Сравнение шеелитов разных месторождений и рудопроявлений Центрального Кавказа показало, что по содержанию Sr и Mo шеелиты Тырныаузского (SrO 0,73–0,8%; MoO_3 до 4,92%) и Блыбского (SrO 0,24–0, 26%; MoO_3 0,015%) месторождений сопоставимы и заметно отличаются от остальных.

Для оценки полученных данных о геодинамической принадлежности гранитогнейсов важно представлять историю развития региона. В связи с тем, что наиболее вероятным возрастом пород является девон (~390 Ma) [Somin, 2011] отметим, что в истории региона на основании стратиграфии и структуры додевонских комплексов выделяют несколько этапов:

1 – Позднепротерозойский этап. Накопление этих осадков примерно с рубежа 1700 млн лет, происходит в условиях мобильной зоны Средиземноморского подвижного пояса (Прототетис).

2 – Венд (?) кембрий – ордовикский этап.

На севере региона существовала плита, где временами происходило накопление осадков в условиях мелководья [Потапенко, 1981]. В силурийско-раннеэйфельское время в направлении с юга на север в Кавказском регионе присутствовали следующие геотектонические мегаструктуры:

– Понтийско-Закавказский (Дзирульский) массив Закавказской литосферной плиты;

– океаническая впадина Палеотетиса, в центре которой располагался Срединно-океанический хребет (СОХ);

– островодужная система и морской бассейн, покрывающий Скифско-Туранскую плиту (СТП).

В СОХ происходили явления спрединга и формировалась нижнедевонская океаническая кора (ОК). Одновременно на северной окраине Палеотетиса шел компенсационный процесс с субдукцией ОК. В результате здесь формировались две субпараллельные островные дуги (ОД): Кизилкольская, располагавшаяся ближе к СТП, и Лабино–Зараусская (Урупская), внешняя. В Кизилкольской дуге происходило накопление вулканитов базальт-андезит-риолитовой, а в Лабино-Зараусской – базальт-риолитовой ассоциации [Омельченко, 2021; Газеев, Гурбанов, 2023]. Согласно с геодинамической моделью региона [Греков, Пруцкий, 2001] в настоящее время фрагменты этих ОД слагают раннегерцинский структурный ярус, характеризующийся развитием аллохтонных толщ. В этих толщах присутствуют фрагменты коллажированных террейнов, образующих аккреционные комплексы, отдельные элементы которых формировались в различных геодинамических условиях. Полученные нами результаты согласуются с существующими представлениями, но указывают на более сложное строение девонской зоны субдукции. Можно предполагать, что в пределах внутренней Кизилкольской ОД либо к северу от нее, уже в пределах активной окраины СТП, происходила генерация глубинных расплавов адакитового типа, перемещавшихся ближе к земной поверхности с образованием небольших рудогенерирующих гранитоидных массивов. В настоящее время на сопредельных картах 1:200000 масштаба эти массивы выделены в самостоятельные комплексы – трондьемиты Тырныаузского вольфрам-молибденового месторождения (*K-38-I,VII*), граниты с сопутствующим молибденовым оруденением озерокяфарского комплекса (*K-37-IV*), диориты бахмуткинского комплекса (*K-37-IV*), гранитогнейсы кристаллического основания ПХ БК (*K-37-V*). Сравнительные петрохимические исследования этих образований позволят детальнее изучить гранитоидный магматизм и рудоносность девонской островодужной системы БК.

Заключение

Изучены петрохимические особенности среднепалеозойских гранитогнейсов кристаллического основания Передового хребта Большого Кавказа. Установлено, что они являются нормально- и умереннощелочными Na_2O+K_2O от 7,12% до 8,31%, умеренно- и высокомагнезиальными $Mg^{\#}$ 0,42–0,62 образованиями с калиево-натриевым типом щелочности Na_2O/K_2O 1,54–3,22. Показано, что изученные породы являются гранитоидами адакитового типа и характеризуются высокими содержаниями Na_2O, *Ba, Sr, LiLe, LREE,* высокими величинами *Sr/Y* и *La/Yb* отношений. Они также имеют пониженные содержания *CaO, HFSE*, *HREE*, *Y* 3–14 г/т, *Yb* 0,3–1,2 г/т. Предполагается, что исходные расплавы этих пород формировались в надсубдукционных условиях на значительных глубинах. Плавящимся субстратом при термальном и флюидном участии субдуцированной океанической коры являлись нижнекоровые гранатовые амфиболиты. Отмечено, что с породами ассоциирует гидротермальное оруденение кварц-шеелитовой формации.

Литература

1. Авдеенко Г.П., Палуева А.А., Кувикас О.В. Адакиты в зонах субдукции Тихоокеанского кольца: Обзор и анализ геодинамичесих условий образования // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2011. – Вып. 1(17). – С 45–60.

2. Афанасьев Г.Д., Плошко В.В., Неговедов Ф.С. и др. Апатитовые проявления Северного Кавказа. М.: Наука, 1976. – 248 с.

3. Газеев В.М., Кондрашов И.А. Граносиениты Чучкурского гипабиссального комплекса (Передовой хребет Большого Кавказа): вопросы петрогенезиса, геодинамическая типизация // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15. № 2. – С. 8–20. DOI: 10.46698/VNC.2025.39.34.002.

4. Газеев В.М., Гурбанов А.Г. Ранне-среднедевонские вулканогенные породы из районов колчеданных месторождений Передового хребта Большого Кавказа: геодинамическая типизация и минерагения // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 1. – С. 6–21. DOI: 10.46698/VNC.2023.29.60.001.

5. Глазырин Е.А. Геологическое строение Блыбского участка шеелитового месторождения (Большой Кавказ) // Материалы IV Международной научной конференции «Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа». Новочеркасск: Темп, 2004. – С. 156–173.

6. 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.

7. Гусев А.И. Петрология адакитовых гранитоидов. М.: Изд. Академия Естествознания, 2014. – 133 с.

8. Гусев Г.С., Кудрявцев Ю.К., Гущин А.В. и др. Геохимическая и металлогеническая специализация структурно–вещественных комплексов. – СПб: ВСЕГЕИ, 1999. – 514 с.

9. Лаврищев В.А., Пруцкий Н.И. и др. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200 000. K-37-V. (Красная Поляна). Объяснительная записка. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2002. – 259 с.

10. Омельченко В.Л. Офиолиты Северного Кавказа и некоторые проблемы геологии его древних комплексов. Ессентуки, 2021. – 167 с.

11. Потапенко Ю.Я. Стратиграфия и структура додевонских комплексов Северного Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1981. – 159 с.

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

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

14. Чернышев И.В., Гурбанов А.Г., и др. О возрасте цирконов из гнейсо-гранитов Северного Кавказа // Доклады академии наук ССС. – 1987. – Т. 295. № 2. – С. 468–472.

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. 29. – pp. 515–518.

17. 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. – p. 1065–1073.

18. Gurbanov A.G., Aretz Y., Gazis C. et al. Origin of granodiorite gneisses and related tungsten mineralization, North Caucasus, Russia // International Geology Review. – 1994. – Vol. 36. – pp. 259–271.

19. Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision–zone magmatism // Geological Society, London, Special Publications. – 1986. – Vol. 19. – pp. 67–81.

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. 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. Issue 208. DOI: 10.3389/feart.2022.845763.

22. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts // Geological Society London Special Publications. – 1989. – Vol. 42. – pp. 313–345. DOI: 10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19.

23. Somin M.L. Pre-Jurassic Basement of the Greater Caucasus: Brief Overview // Turkish Journal of Earth Sciences. – 2011. – Vol. 20. – pp. 545–610. DOI: 10.3906/yer-1008-6.

24. 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 milang 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. Avdeinko G.P., Paluyeva A.A., Kuvikas O.V. Adakites in the subduction zones of the Pacific Ring: review and analysis of geodynamic genesis conditions. Bulletin of KRAUNTS. Earth Sciences. 2011. Issue 1(17). pp. 45–60. (In Russ.)

2. Afanasyev G.D., Ploshko V.V., Negovedov F.S. et al. Apatite deposits of the North Caucasus. Moscow. Nauka. 1976. 248 p. (In Russ.)

3. Gazeev V.M., Kondrashov I.A. Granosyenites of the Chuchkur hypabyssal complex (Greater Caucasus Front Range): petrogenesis issues, geodynamic typing. Geology and Geophysics of Russian South. 2025. Vol. 15. No. 2. pp. 8–20. DOI: 10.46698/VNC.2025.39.34.002. (In Russ.)

4. Gazeev V.M., Gurbanov A.G. Early Middle Devonian volcanic rocks from areas of massive sulfide deposits of the Front Range of the Greater Caucasus: geodynamic typification and minerageny. Geology and Geophysics of Russian South. 2023. Vol. 13. No. 1. pp. 6–21. DOI: 10.46698/VNC.2023.29.60.001. (In Russ.)

5. Glazyrin E.A. Geological structure of the Blybsky section of the scheelite deposit (Greater Caucasus). In: Materials of the IV International Scientific Conference “Problems of geology, minerals and ecology of the South of Russia and the Caucasus”. Novocherkassk. Temp. 2004. pp. 156–173. (In Russ.)

6. 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 geoecology of the Southern Russian region. Novocherkassk. NABLA. 2001 pp. 4–15. (In Russ.)

7. Gusev A.I. Petrology of adakite granitoids. Moscow. Academy of Natural Sciences. 2014. 133 p. (In Russ.)

8. 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.)

9. Lavrishchev V.A., Prutsky N.I. et al. State geological map of the Russian Federation scale 1:200 000. K-37-V. (Krasnaya Polyana). Explanatory note. Saint Petersburg. VSEGEI. 2002. 259 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. Potapenko Yu.Ya. Stratigraphy and structure of the Pre-Devonian complexes of the North Caucasus. Tbilisi. Metsniereba. 1981. 159 p. (In Russ.)

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

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

14. Chernyshev I.V., Gurbanov A.G. et al. On the age of zircons from the gneiss-granites of the North Caucasus. Doklady Earth Sciences USSR. 1987. Vol. 295. No. 2. pp. 468–472.

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. 29. pp. 515–518.

17. 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. p. 1065–1073.

18. Gurbanov A.G., Aretz Y., Gazis C. et al. Origin of granodiorite gneisses and related tungsten mineralization, North Caucasus, Russia. International Geology Review. 1994. Vol. 36. pp. 259–271.

19. Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision–zone magmatism. Geological Society, London, Special Publications. 1986. Vol. 19. pp. 67–81.

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. 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. Issue 208. DOI: 10.3389/feart.2022.845763.

22. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. Geological Society London Special Publications. 1989. Vol. 42. pp. 313–345. DOI: 10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19.

23. Somin M.L. Pre-Jurassic Basement of the Greater Caucasus: Brief Overview. Turkish Journal of Earth Sciences. 2011. Vol. 20. pp. 545–610. DOI: 10.3906/yer-1008-6.

24. 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 milang in the Qilling Mountains, central China: Evidence of partial melting of the subducted Paleo-Tethyan crust. Geochemical Journal. 2000. Vol. 34. pp. 359–377.