



РЕЗУЛЬТАТЫ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКАРНОИДОВ ДАХОВСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ВЫСТУПА (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)

Латун С. В., Попов Ю. В. ORCID ID 0000-0002-0216-5998

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Российская Федерация,
e-mail: latun@sfedu.ru*

Даховское кристаллическое поднятие, расположенное на тектонически раздробленном фланге Бечасынской тектонической зоны Большого Кавказа, характеризуется сложным геологическим строением и петрографическим разнообразием слагающих его горных пород. Целью работы является изучение обнаруженных на северном контакте поднятия не описанных ранее гранат-амфибол-пироксеносодержащих горных пород. По результатам рентгенофазовых и электронно-зондовых исследований приведена их минералого-петрографическая характеристика. Основная масса породы состоит из микрокристаллического агрегата альбита-олигоклаза и пироксена авгитового состава. Порфириобластовые сростания образованы гранатом с преобладанием альмандинового (43–52%) и гроссулярового (26–28%) компонентов, амфиболами переменного состава Na-Ca и Ca подгрупп (от магнезиогастингситового до эденитового состава), хлоритом. Акцессорными минералами являются рутил, титанит (иногда образующий оторочки вокруг рутила), апатит. Порода имеет контактово-метасоматическое происхождение – является скарноидом, образованным за счет воздействия на амфиболиты гранитоидной интрузии. Приведена (по данным прецизионных измерений) геохимическая характеристика скарноида, включая особенности распределения редкоземельных элементов; относительно базальтов срединно-океанических хребтов отмечается наличие Eu аномалии, относительно континентальной земной коры – обогащенность тяжелыми редкими землями. В породе присутствует рассеянная рудная сульфидная минерализация, в составе которой присутствуют сульфиды серебра, нехарактерные для гидротермальных минеральных ассоциаций Даховского поднятия.

Ключевые слова: скарноид, Даховский выступ, контактовый метасоматоз

Благодарности: Авторы выражают глубокую благодарность доктору геолого-минералогических наук, профессору Хардикову Александру Эдуардовичу за помощь и конструктивную критику работы.

RESULTS OF MINERALOGICAL-PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL STUDIES OF SKARNOIDS FROM THE DAKHOVSKY CRYSTALLINE LEDGE (GREATER CAUCASUS)

Latun S. V., Popov Yu. V. ORCID ID 0000-0002-0216-5998

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Southern Federal University”, Rostov-on-Don, Russian Federation,
e-mail: latun@sfedu.ru*

The Dakhovsky crystalline ledge, located on the tectonically fragmented flank of the Bechasyntectonic zone of the Greater Caucasus, is characterized by a complex geological structure and petrographic diversity of its constituent rocks. The aim of this work is to study previously undescribed garnet-amphibole-pyroxene-bearing rocks discovered at the northern contact of the ledge. Based on the results of X-ray diffraction and electron probe microanalysis, their mineralogical and petrographic characteristics are presented. The groundmass of the rock consists of a microcrystalline aggregate of albite-oligoclase and augitic pyroxene. Porphyroblastic intergrowths are composed of garnet with a predominance of almandine (43–52%) and grossular (26–28%) components, amphiboles of variable composition belonging to the Na-Ca and Ca subgroups (ranging from magnesio-hastingsite to edenite compositions), and chlorite. Accessory minerals include rutile, titanite (sometimes forming rims around rutile), and apatite. The rock is of contact-metasomatic origin — it is a skarnoid formed by the effect of a granitoid intrusion on amphibolites. The geochemical characteristics of the skarnoid, including the distribution patterns of rare earth elements (based on high-precision measurements), are presented; relative to mid-ocean ridge basalts (MORB), a Eu anomaly is noted, and relative to the continental crust, enrichment in heavy rare earth elements is observed. The rock contains disseminated ore sulfide mineralization, including silver sulfides, which are uncharacteristic of the hydrothermal mineral assemblages of the Dakhovsky ledge.

Keywords: skarnoids, Dakhovsky ledge, contact metasomatism

Acknowledgements: The authors express their deep gratitude to Alexander Eduardovich Khardikov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, for his assistance and constructive criticism of the work.

Введение

Даховский выступ кристаллических пород приурочен к Бечасынской тектонической зоне, соответствующей перекрытому нижне-среднеюрским осадочным челом краю эпигерцинской Скифской плиты, вовлеченному в альпийское поднятие Большого Кавказа. Выступ ограничен крупными разломами (с юга отделен от Пшекиш-Бамбакского блока Пшекиш-Тырныаузской шовной зоны Северным разломом), интенсивно дислоцирован и может рассматриваться как фрагмент тектонического шва [1, 2]. Это, наряду с петрографическим разнообразием слагающих его пород, их интенсивной метасоматической переработкой и плохой обнаженностью, осложняет анализ геолого-генетических особенностей формирования образующих его комплексов, оставляя дискуссионными ряд ключевых вопросов его геологии [3 и др.], включая характер взаимоотношений разновозрастных интрузивов с вмещающими породами.

Даховский выступ образован гнейсо-амфиболитовой толщей и внедренными в нее средне- и позднепалеозойскими гранитоидами [4]. Среднепалеозойский даховский плагиогранит-диоритовый плутонический комплекс обнажен фрагментарно, его породы в современной структуре имеют тектонический контакт с амфиболитовой толщей на северном фланге поднятия. Позднепалеозойский гранитовый плутонический комплекс, относимый к «малкинским гранитам» [5], объединяет раннюю гранодиоритовую фазу и позднюю гранитную фазу малых интрузивных тел. С последней связан площадной щелочной калиевый метасоматоз, локальное развитие грейзенизации и более низкотемпературные гидротермальные процессы. В последние годы опубликовано несколько работ, указывающих на возможность присутствия в составе гранитоидного массива не описанных ранее пород [6, 7]. На северном краю массива, в составе меланжевой зоны, присутствуют небольшие по мощности пластины и линзы альпинотипных апогарцбургитовых гипербазитов [8, 9].

Наряду с широко распространенными горными породами вышеотмеченных комплексов в составе массива присутствуют и достаточно «экзотические» для них образования, например базификаты пренит минерального состава [10], предполагаемые монзониты, преобразованные в аляскиты [7], и др. К числу таких пород можно отнести и обнаруженные авторами среди коллювия в междуречье рек Сюк и Липовая

и в отвалах штолен Белореченского баритового месторождения (то есть приуроченные к раздробленному северному флагу массива) гранат- и пироксенсодержащие породы.

Ранее в сходных геологических условиях (в ассоциации с серпентинитами) исследователями описывались родингиты [10, 11] и их разновидности – хлограпиты [12], а также высокобарические гранатовые амфиболиты. Это позволяет предполагать генетическую связь изученных пород с данными образованиями и требует проведения верификации.

Цель исследования – на основе комплекса минералого-петрографических и геохимических данных охарактеризовать впервые обнаруженные в составе Даховского выступа гранат- и пироксенсодержащие породы и установить их генетическую природу.

Материалы и методы исследования

Объектом изучения послужили образцы неравномернокристаллической породы, сложенной зеленовато-серой микрокристаллической основной массой, среди которой присутствуют многочисленные гломеробластовые буровато-черные кристаллические сростания (рис. 1, а). В гломеробластовых сростках иногда отмечается зональное строение – в центральной их части расположены мелкие буроватые зерна (граната?), окруженные агрегатом темноцветных минералов. В горной породе незакономерно рассеяны рудные минералы.

Микрокристаллическое сложение горной породы и необходимость получения данных об особенностях состава минералов требуют применения комплекса инструментальных методов анализа. Минеральный состав изучен с применением качественного рентгенофазового анализа и электронно-зондовых исследований с применением рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 (с медным излучением анода) и растрового электронного микроскопа Tescan Vega LMU II, интегрированного и системой EDX-микроанализа INCA Energy 450. Элементный состав охарактеризован по результатам рентгенофлуоресцентного анализа (силикатного анализа) на спектрометре Axios Advanced и масс-спектрометрии, проведенной на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ELAN-DRC.

Основной объем измерений выполнен в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Южного федерального университета.

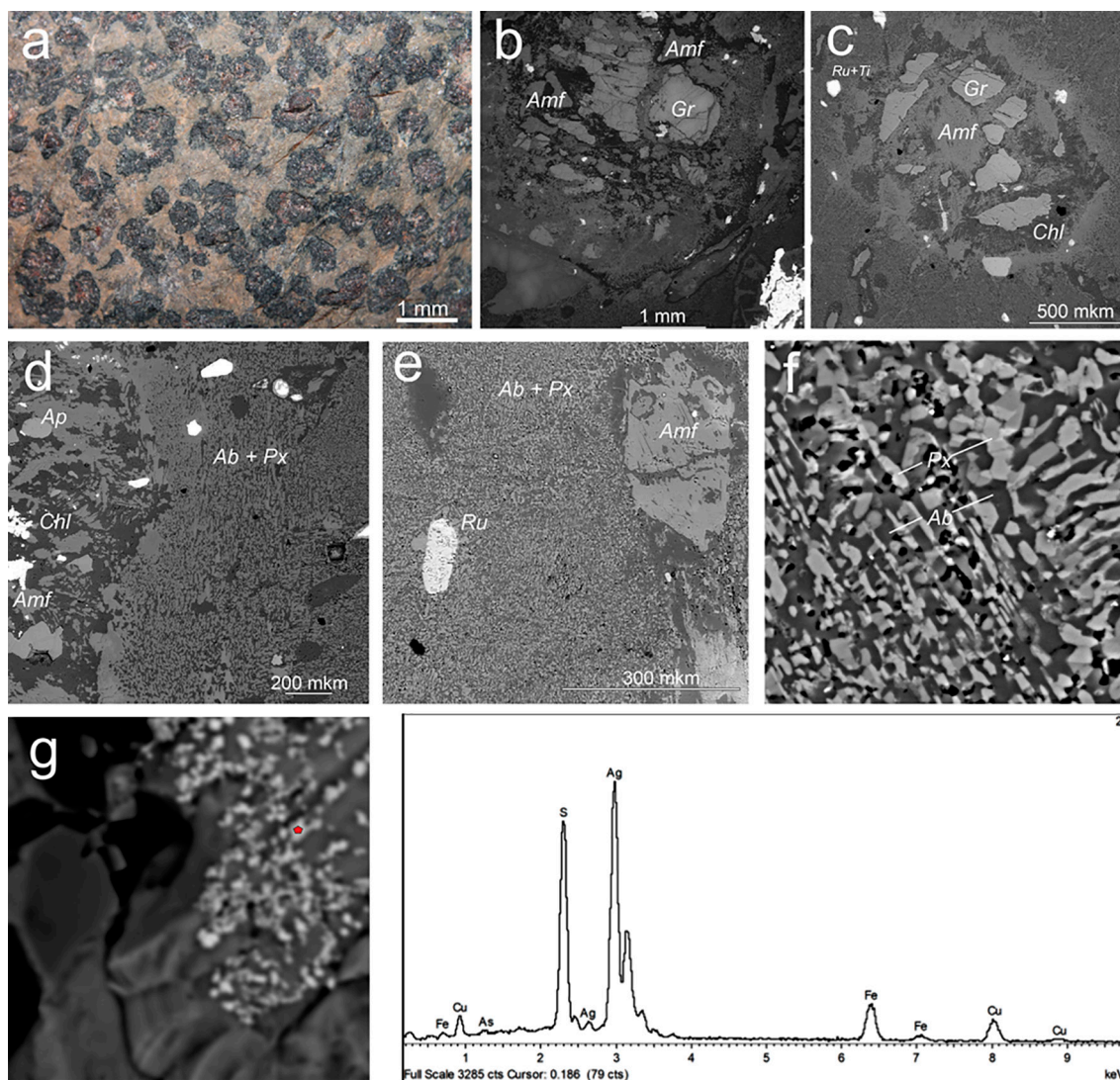


Рис. 1. Структура изучаемой горной породы: а – внешний вид, б, с – участки с порфиробластовой структурой, d, e – неоднородная текстура, f – мозаичная структура основной массы, g – сульфиды серебра в халькопирите и их спектр EDX
 Обозначения минералов: Ab – альбит, Amf – амфибол, Ap – апатит, Gr – гранат, Chl – хлорит, Px – пироксен, Ru – рутил, Ti – титанит
 Примечание: составлена авторами по результатам данного исследования

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты рентгенофазового анализа образцов изучаемой горной породы указывают на присутствие в качестве породообразующих минералов (рис. 2) амфиболов, близких по кристаллоструктурным параметрам к фазе магнезиогорнблендита (наблюдаемые основные рефлексы соответствуют межплоскостным расстояниям $d \sim 8,34; 2,70; 3,10 \text{ \AA}$), пироксенов со структурным типом диопсида ($d \sim 2,98; 2,59; 2,70 \text{ \AA}$), плагиоклазов альбит-олигоклазового состава

($d \sim 3,18; 4,03; 3,21$), хлорита ($d \sim 2,69; 14,19 \text{ \AA}$), в ряде образцов присутствуют рефлексы структурно сходного с андрадитом граната ($d \sim 1,60 \text{ \AA}$).

Структура породы неоднородная (рис. 1). В основной зеленовато-серой массе она массивная гранобластовая, образована мозаичными тонкими срастаниями кристалликов (размером $\sim 5\text{--}10 \text{ мкм}$) кислого плагиоклаза и пироксена (рис. 1, d, e, f). Плагиоклазы микрокристаллической ткани породы по составу соответствуют альбиту – олигоклазу (рис. 3, d). Пироксены по составу мало изменяются и соответствуют авгиту (рис. 3, b).

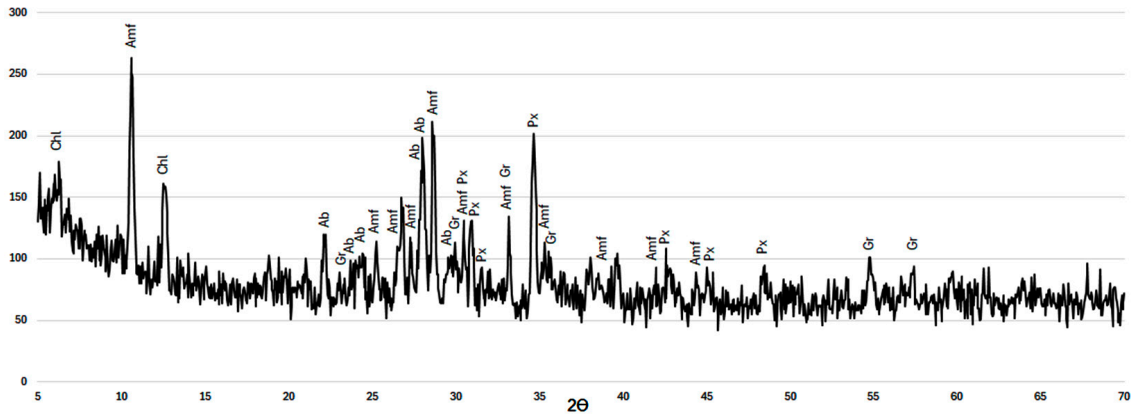


Рис. 2. Результаты рентгенофазового анализа изучаемой породы
 Обозначения минеральных фаз: Ab – альбит, Amf – амфибол,
 Gr – гранат, Chl – хлорит, Px – пироксен
 Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

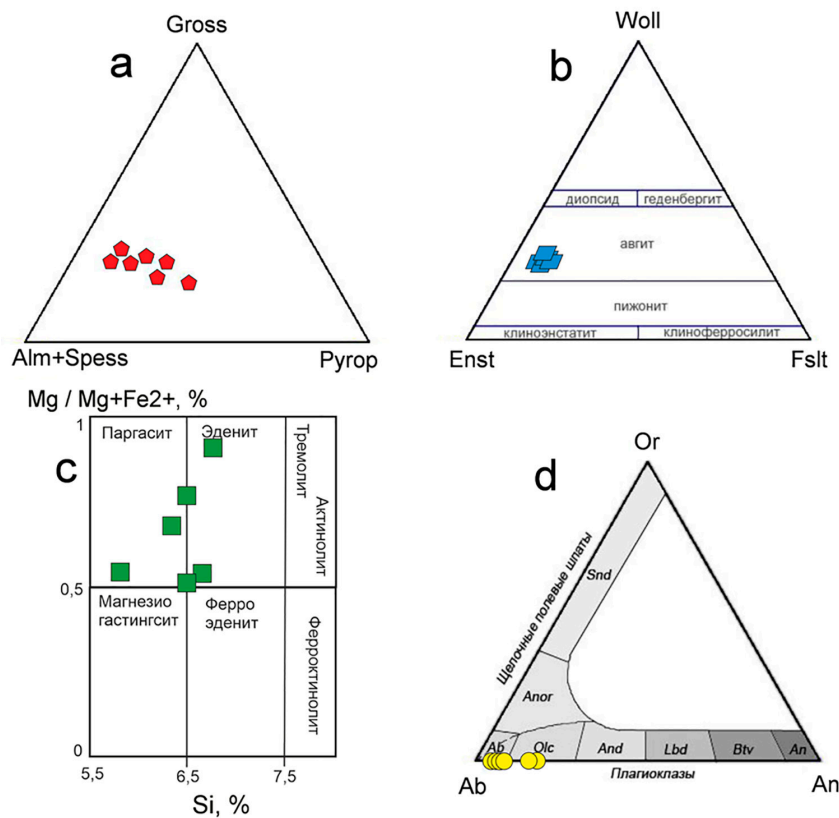


Рис. 3. Особенности состава породообразующих минералов:
 a – гранатов, b – пироксенов, c – амфиболов, d – плагиоклазов
 Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Порфиробластовые агрегаты меланократовых минералов нередко имеют выраженные шестиугольные очертания, типичные для сечений кристаллов роговых обманок (рис. 1, a). Сложены они сростаниями амфибола, граната, хлорита, ильменита, титанита (рис. 1, b, c). Амфиболы по составу измен-

чивы: их характеристики меняются от собственных представителям подгруппы Na-Ca амфиболов до Ca амфиболов (рис. 3, c), варьируя в диапазоне от магнезиогастингсита до эденита (содержание K+Na ≥ 0,5 ф. е.). Такие вариации, видимо, связаны с метасоматическими преобразованиями в породе

и нарушением состава при гидротермальных низкотемпературных наложенных изменениях. Отмечается сходство составов амфиболов из изучаемой породы и амфиболов из диоритов даховского плагиогранит-диоритового plutonic комплекса [13]. Гранаты принадлежат к уграндитам, изменчивы по составу (рис. 3, а), но в их составе всегда преобладает альмандиновый компонент: содержание альмандинового минала меняется в интервале ~ 43–52%, пиропового – 12–28%,grossулярового – 26–28%, иногда отмечается повышенное содержание спессартинового минала – до 8%. В зернах гранатов нередки мелкие вроски титанита. Акцессорными минералами являются рутил, титанит (иногда образующий оторочки вокруг рутила), апатит. Рудные минералы представлены пиритом и халькопиритом, в составе последнего присутствуют мышьяк ($\leq 0,3$ мас. %) и кобальт ($\leq 0,1$ мас. %). В ассоциации с халькопиритом отмечается присут-

ствие сульфида серебра (аргентита или акантита) (рис. 2, g), состав которого уверенно не измеряется из-за очень малых размеров. Нужно отметить, что присутствие сульфидов серебра нехарактерно для гидротермальных минеральных ассоциаций Даровского выступа [14, 15]. Порода пересекается тонкими прожилками кварц-карбонатного состава.

Структурно-текстурные особенности породы указывают на ее образование контактово-метасоматическим путем за счет амфиболитового протолита в ходе интенсивного основного метасоматоза.

В плане химического состава порода обогащена основными элементами при достаточно низком содержании кремнезема и щелочей (табл. 1), наличием выраженного Eu минимума в спектре распределения редкоземельных элементов (REE) и обогащенностью тяжелыми REE относительно среднего состава континентальной коры (табл. 2, рис. 4).

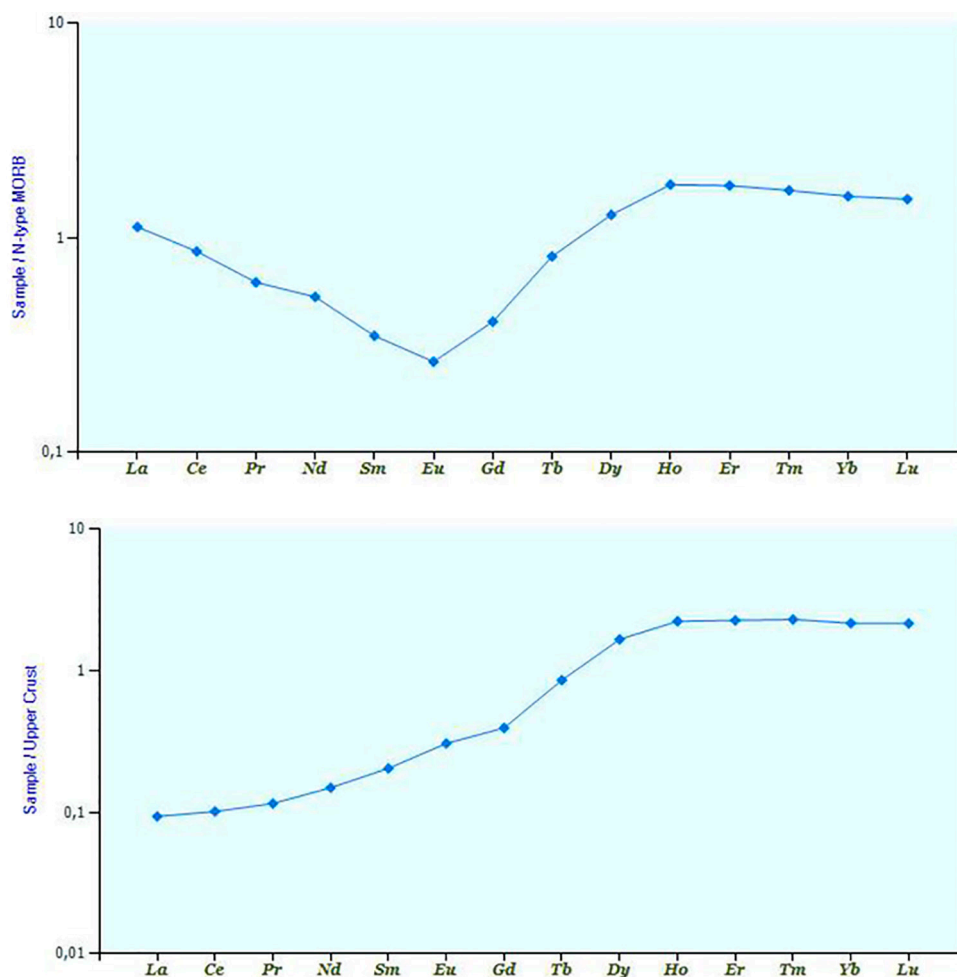


Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов (REE) в породе
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 1

Результаты силикатного анализа породы (в мас. %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП
41,56	17,20	2,34	19,51	0,45	6,52	9,03	1,80	0,61	0,55	0,42

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Таблица 2

Содержание элементов в породе (ppm)

Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga
15,5	< 1	40,9	235	66,8	39,5	33,9	51,4	98,5	11,9
As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd
7,91	0,70	12,2	236	45,3	35,8	4,52	<0,6	0,042	0,12
Sn	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm
0,85	0,23	< 0,5	3,55	67,6	2,81	6,49	0,82	3,88	0,92
Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
0,27	1,50	0,55	5,83	1,79	5,21	0,76	4,77	0,69	1,18
Ta	W	Re	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U	
0,24	0,51	< 0,005	0,029	< 0,1	1,04	< 0,1	0,48	<0,1	

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Заключение

Обнаруженные в северной приконтактной зоне Даховского кристаллического поднятия гранат-пироксен-амфиболовые породы являются контактово-метасоматическими базификатами, образованными за счет воздействия на амфиболиты герцинских гранитоидных интрузий, и могут быть определены как скарноиды. Отсутствие наблюдаемых магматических контактов с интрузивами и геохимической характеристики их пород не позволяют уверенно указать состав контактирующих магматических пород. Однако отсутствие признаков кремнещелочного метасоматоза, типичного для калиевых гранитоидов поздних фаз внедрения, сходство составов амфиболов из диоритов и скарноидов, наличие признаков структурных и минеральных преобразования амфиболитов вблизи контактов с диоритами позволяют предполагать взаимодействие с последними.

В металлогеническом плане обращает на себя внимание присутствие в рудной ассоциации нехарактерного для гидротермальных минеральных ассоциаций выступа сульфида серебра.

Впервые полученные данные о содержании и особенностях распределения малых элементов позволят (при получении анало-

гичных данных для других пород выступа) уточнить состав протолита и особенности перераспределения химических элементов в ходе метасоматоза.

Список литературы

1. Ненахов В. М., Жабин А. В., Никитин А. В., Бондаренко С. В. Внутреннее строение тектонической зоны северного обрамления Даховского кристаллического массива (Западный Кавказ) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2019. № 1. С. 5–14. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/geo/2019/01/2019-01-01.pdf> (дата обращения: 03.03.2026).
2. Полигоны учебных геологических практик вузов России: сборник статей. Ростов-на-Дону – Таганрог: Южный федеральный университет, 2023. 272 с. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_61327207_64667642.pdf (дата обращения: 03.03.2026). EDN: PVDYNB. ISBN 978-5-9275-4506-3.
3. Рубан Д. А. Геологические исследования в Горной Адыгее. Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2024. 149 с. ISBN 978-5-6051261-8-8.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L – 37 – XXXV. Майкоп. Объяснительная записка. 2004. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/maps/8226> (дата обращения: 03.03.2026).
5. Снежко В. А., Снежко В. В., Шарпенко Л. Н. Малкинский гранит-лейкогранитовый плутонический комплекс (Северный Кавказ) // Региональная геология и металлогения. 2021. № 85. С. 5–20. URL: https://karpinskyinstitute.ru/public/reggeology_met/content/2021/85/85_01.pdf (дата обращения: 03.03.2026).
6. Ненахов В. М., Жабин А. В., Жаворонкин В. И., Ильин В. В., Чеботарева Л. С. Вещественные особенности, петрофизические свойства и геодинамические условия формирования гранитоидов Даховского кристаллического массива (Западный Кавказ) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2021. № 2. С. 4–21. DOI: 10.17308/geology.2021.2/3484.

7. Рубан Д. А., Зорина С. О., Никашин К. И., Таххан Ф. Новые данные о позднепалеозойских гранитоидах Руфагинского кристаллического массива Горной Адыгеи // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2022. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-dannye-o-pozdnepal-eozoyskih-granitoidah-rufabginskogo-kristallicheskogo-mas-siva-gornoy-adygei> (дата обращения: 03.03.2026).
8. Попов Ю. В., Пустовит О. Е. Серпентиниты западной части зоны Передового хребта Большого Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Т. 7. № 1 (27). С. 44–54. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48704022_66093118.pdf (дата обращения: 03.03.2026). DOI: 10.25744/genb.2022.72.53.005. EDN: BVVJNZ.
9. Пустовит О. Е. Типохимизм хромшпинелидов серпентинитов зоны Передового хребта Большого Кавказа // Материалы международных Саптаевских чтений «Саптаевские чтения – 2021». Алматы: КазНИТУ имени Саптаева, 2021. Том. I. С. 128–131. URL: <https://official.satbayev.university/download/document/20338/%D0%A1%D0%B0%D1%82%D0%BF%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%A7%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%202021%20-%201%20%D1%82%D0%BE%D0%BC.pdf> (дата обращения: 03.03.2026). ISBN 978-601-323-247-8.
10. Труфанов В. Н., Попов Ю. В., Цицуашвили Р. А., Труфанов А. В., Гончаров А. Б. Родингиты даховского кристаллического массива (Северо-Западный Кавказ) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2011. № 5 (165). С. 73–77. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17063910_78603799.pdf (дата обращения: 03.03.2026). EDN: OJKQSH.
11. Попов Ю. В., Бураева Е. А., Цицуашвили Р. А. Удельная активность ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в кристаллических породах Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Успехи современного естествознания. 2014. № 9–2. С. 115–119. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34366> (дата обращения: 03.03.2026).
12. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Поленов Ю. А. Родингиты и хлограптиты: сходство, различие, роль в металлогеническом анализе, прогнозировании и поисках золотого оруденения // Уральская минералогическая школа – 2008 «Минералогия ультрабазит-базитовых комплексов». Екатеринбург, 2008. С. 56–60. URL: <http://i.uran.ru/nasledie/content/rodingity-i-hlograpity-shodstvo-razlichie-rol-v-metallogenicheskom-analize-prognozirovani-i> (дата обращения: 03.03.2026). ISBN 5-94332-079-8.
13. Заентина А. В., Савельев Г. М. Амфиболы пород Даховского массива (Большой Кавказ) // Практика геологов на производстве. Сборник трудов IV Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН Ю. А. Жданова. 2019. С. 88–91. URL: <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/19239/188.pdf?sequence=1> (дата обращения: 03.03.2026). ISBN 978-5-9275-3448-7.
14. Пеков И. В., Левицкий В. В., Кривовичев В. Г. Минералогия Белореченского месторождения (Северный Кавказ, Россия) // Минералогический альманах. 2010. Т. 15. Вып. 2. 96 с. ISBN 5-900395-28-6.
15. Долженко И. В. Кварц-карбонатные породы на контактах серпентинитов Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Практика геологов на производстве. Сборник трудов VII всероссийской студенческой научно-практической конференции. Ростов-на-Дону – Таганрог. 2022. С. 131–133. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_50781604_73019997.pdf (дата обращения: 03.03.2026). DOI: 10.18522/801309206. ISBN 978-5-9275-4290-1.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.