

Научная статья

УДК 552.321.6+553.46

DOI: 10.31084/2619-0087/2023-1-5

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАББРОИДОВ МИНДЯКСКОГО МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА

Савельев Д. Е.¹, Гатауллин Р. А.¹, Савельева Е. Н.², Юмагулова Д. И.¹

1 — Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, savl71@mail.ru

2 — ООО РН-БашНИПИнефть, 450077, г. Уфа, ул. Ленина, 86/1, savelnik79@yandex.ru

Изучены минералогические особенности габброидов восточной части Миндякского мафит-ультрамафитового массива. Приведены составы породообразующих и акцессорных минералов. Показано, что породы претерпели автометаморфические преобразования с замещением первичного пироксен-плагиоклазового парагенезиса ассоциацией амфиболов и существенно натриевого полевого шпата. Типичные акцессорные минералы представлены титанитом, ильменитом, титаномагнетитом, апатитом. Габброиды массива охватывают широкий диапазон составов от меланогаббро до диоритов, демонстрируя также значительные вариации содержаний петрогенных оксидов и элементов-примесей. Характер распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в большей части изученных проб габброидов сходен с таковым базальтов срединно-океанических хребтов, но часто отличается от них высокими концентрациями стронция и некоторых других редких элементов. В габброидах восточной части массива установлена собственная U-Th минерализация в ассоциации с агрегатами ксеноморфных зерен циркона; происхождение данных находок в рамках настоящего исследования не установлено. Оценки P-T-условий по амфиболовому барометру показывают наличие двух максимумов значений — 2.8–5.1 кбар и менее 2 кбар, которые скорее всего фиксируют два разных этапа в становлении пород — автометаморфизм в магматической камере при остывании и взаимодействие с магматическими флюидами (магнезиальная роговая обманка), и низкотемпературные (зеленокаменные) преобразования (актинолит).

Ключевые слова: габбро, амфиболы, апатит, торит, Миндякский мафит-ультрамафитовый массив, Южный Урал

Благодарности: Исследования выполнены в рамках темы Госзадания Минобрнауки РФ № FMRS-2022–0011.

Original article

MINERALOGICAL FEATURES OF GABBROIC ROCKS FROM MINDYAK MAFIC-ULTRAMAFIC MASSIF

Saveliev D. E.¹, Gataullin R. A.¹, Savelieva E. N.², Yumagulova D. I.¹

1 — Institute of Geology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Karl Marks str. 16/2, Ufa, 450077 Russia; savl71@mail.ru

2 — ООО РН-БашНИПИнефть, Lenina str., 86/1, 450077 Ufa, Russia; savelnik79@yandex.ru

Для цитирования: Савельев Д. Е., Гатауллин Р. А., Савельева Е. Н., Юмагулова Д. И. Минералогические особенности габброидов Миндякского мафит-ультрамафитового массива // Геологический вестник. 2023. № 1. С. 55–69. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-1-5

For citation: Saveliev D. E., Gataullin R. A., Savelieva E. N., Yumagulova D. I. (2023) Mineralogical features of gabbroic rocks from Mindyak mafic-ultramafic massif. *Geologicheskii vestnik*. 2023. No. 1. P. 55–69. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-1-5

© Савельев Д. Е., Гатауллин Р. А., Савельева Е. Н., Юмагулова Д. И., 2023

The mineralogical features of several samples of gabbroids from the eastern part of the Mindyak mafic-ultramafic massif have been studied. The compositions of rock-forming and accessory minerals are given. The rocks underwent autometamorphic transformations with the replacement of the primary pyroxene-plagioclase association to amphibole and essentially sodium feldspar secondary assemblage. Typical accessory minerals are titanite, ilmenite, titanomagnetite, and apatite. The gabbroids of the massif cover a wide range of compositions from melanogabbro to diorites, also demonstrating significant variations in the contents of petrogenic oxides and trace elements. In terms of REE distribution, most of the studied samples of gabbroids are comparable to basalts of mid-ocean ridges, but often differ from them in high concentrations of strontium and some other rare elements. The gabbroids of the eastern part of the massif have U-Th mineralization in association with aggregates of xenomorphic zircon grains. The origin of these finds has not been established in the present study. Estimates of the PT conditions by the amphibole barometer show the presence of two maxima of values — 2.8–5.1 kbar and less than 2 kbar, which most likely fix two different stages in the formation of rocks — autometamorphism in the magma chamber during cooling and interaction with magmatic fluids (magnesian hornblende), and low-temperature (greenstone) transformations (actinolite).

Keywords: gabbro, amphibole, apatite, thorite, Mindyak mafic-ultramafic massif, the Southern Urals

Acknowledgements: This study was performed as part of government contract of Ministry of Education and Science № FMRS-2022–0011.

Введение

Миндякский мафит-ультрамафитовый массив привлекал внимание многих исследователей, поскольку является одним из немногих хорошо обнаженных и слабо затронутых тектоникой комплексов, сходных с классическими офиолитами. Геологическая структура всего рассматриваемого района была детально изучена в работах С. Е. Знаменского [Знаменский, 2009; Серавкин и др., 2001] в связи с изучением золоторудных объектов, приуроченных к восточной периферии мафит-ультрамафитовых комплексов зоны Главного Уральского разлома (Миндякское месторождение). Структура мантийной части разреза была достаточно детально описана в работе Е. И. Денисовой [1984], лерцолиты охарактеризованы также в работе [Савельев и др., 2022], геохимическая и изотопная характеристика ультрамафитов и геодинамическая интерпретация комплекса представляли предмет исследования в ряде работ международных научных коллективов и описаны в многочисленных статьях [Краснобаев и др., 2011; Savelieva et al., 1997; Scarrow et al., 1999; Tessalina et al., 2007]. Особое внимание исследователей привлекли глыбы гранатовых пироксенитов, которые обнажаются в северной части комплекса, на склоне г. Атутэ. Их минералогическому, геохимическому и петрологическому описанию посвящено большое количество публикаций [Пушкарев и др., 2010; Готтман и др., 2015, 2018; Кузнецов, 2017; Кузнецов и др., 2014; Scarrow et al., 2000].

Непосредственно габбровая часть разреза была в фокусе лишь единичных исследований [Салихов,

Беликова, 2007], а чаще всего габбро рассматривались совместно с аналогичными породами всего Главного Уральского разлома [Косарев, 2013, 2015; Салихов, 2008; Spadea, D'Antonio, 2006; Tessalina et al., 2003]. В данной статье нами сделан акцент на изучении состава породообразующих и акцессорных минералов габброидов восточной части Миндякского мафит-ультрамафитового комплекса.

Методы исследований

Основными методами лабораторных исследований были петрографический (микроскоп ПОЛИМ Р-312), геохимический и электронно-микроскопический. Геохимические исследования габброидов включали в себя определение содержаний петрогенных оксидов и ряда элементов-примесей (табл. 1). Определение петрохимического состава пород проводилось методом «мокрой химии» в химической лаборатории ИГ УФИЦ РАН (аналитик С. А. Ягудина), микроэлементный состав пород изучался нейтронно-активационным и атомно-абсорбционными методами в ГЕОХИ РАН (аналитик Д. Ю. Сапожников).

Электронно-микроскопические исследования и изучение состава минералов проводились в аншлифах и шашках на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact с энерго-дисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments (ИГ УФИЦ РАН, Уфа). Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с использованием методики TrueQ. При съёмке использованы следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ,

ток зонда в диапазоне 3–4 нА, время накопления спектра в точке 60 секунд в режиме «Point&ID».

Формулы пироксенов рассчитывались на 6 атомов кислорода, для амфиболов применялся расчет на 23 атома кислорода по методу, изложенному в работе [Leake et al., 1997]. Аббревиатуры минералов, использованные нами на рисунках, соответствуют таковым, рекомендованным в работе [Whitney, Evans, 2010] либо минералы обозначены формулой, примерно соответствующей их химическому составу.

Результаты исследований Геологический очерк

Миндякский массив находится в зоне Главного Уральского разлома в 40 км к северо-востоку от г. Белорецка. Он представляет собой удлиненное в плане тело меридионального простирания длиной около 25 км. Ширина выходов ультрамафитов изменяется в значительном диапазоне — от 0.2 до 2–5 км. Массив разделен субширотными разрывными нарушениями на серию блоков, наиболее крупными из которых являются (с севера на юг): Биикбил, Зуляйхатау, Атутэ, Хайертюбе, Ураза, Акбура и Муктитау (рис. 1). Контакты массива с вмещающими породами повсеместно тектонические, крутопадающие преимущественно в восточном направлении (Кац, 1980ф). Над центральной частью массива фиксируется интенсивная положительная аномалия силы тяжести почти изометричной формы. Согласно проведенным расчетам, мощность ультраосновных пород здесь составляет около 6.5–7 км (Кац, 1980ф), в северном и южном направлении происходит резкое уменьшение мощности до 500–1000 м в блоках Муктитау и Хайертюбе.

В строении массива отмечается грубая зональность, выраженная в последовательной смене с запада на восток следующих комплексов пород: 1) лерцолиты шпинелевые, 2) лерцолиты шпинель-плагноклазовые (оба комплекса сопоставимы с мантийным разрезом офиолитов), 3) верлит-пироксенитовый комплекс (сопоставимы с переходной корово-мантийной зоной), 4) габброиды (нижняя часть коровой части разреза).

Шпинелевые лерцолиты имеют светло-коричневую корку выветривания, в большей степени серпентинизированы и почти не содержат вторичного магнетита. Шпинель-плагноклазовые лерцолиты обычно представлены массивными породами темно-серого (до черного) цвета благодаря обилию вторичного магнетита.

Для верлит-клинопироксенитового комплекса характерна избирательная серпентинизация, выраженная в замещении серпентином оливина, пироксены при этом практически не затрагиваются вторичными процессами. В измененных ультрамафитах наблюдается постоянное присутствие вторичного пылевидного магнетита, выделяющегося совместно с петельчатым lizardитом. Кроме оливин-диопсидовых пород в составе полосчатого комплекса в подчиненных количествах встречаются вебстериты, содержащие 15–30% энстатита. В вер-

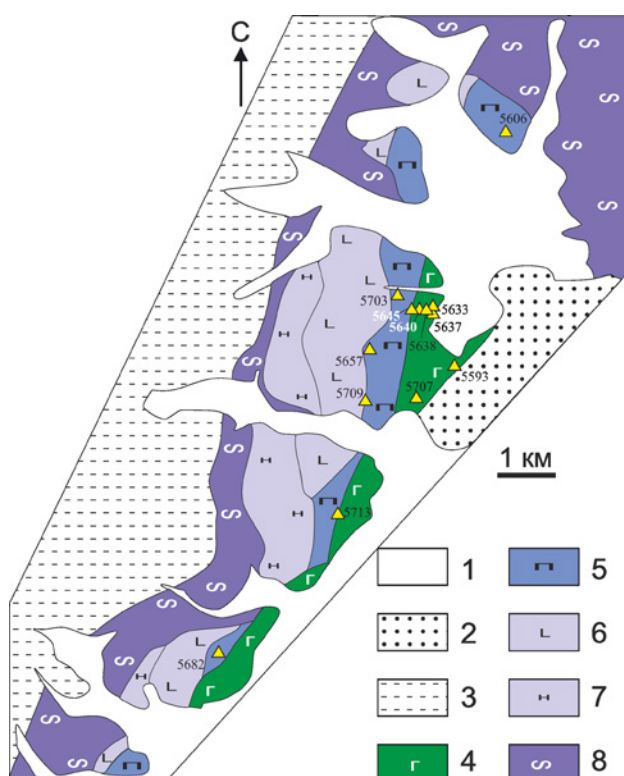


Рис. 1. Геологическое строение Миндякского массива и положение изученных образцов. По [Савельев и др., 2022], модифицировано

Условные обозначения: 1 — четвертичные аллювиальные и озерные отложения, 2 — осадочные и вулканогенно-осадочные породы палеозоя Западно-Магнитогорской зоны, 3 — метаморфические породы зоны Уралтау; 4–8 — мафит-ультрамафитовый комплекс Миндякского массива: 4 — габброиды, 5 — верлиты, пироксениты и меланогаббро, 6 — шпинель-плагноклазовые лерцолиты, 7 — шпинелевые лерцолиты и гарцбургиты, 8 — серпентиниты.

Fig. 1. Geological map of Mindyak massif and location of studied samples after [Saveliev et al., 2022], modified

Legend: 1 — Quarter alluvial and lake deposits, 2 — Paleozoic sedimentary and volcanic-sedimentary rocks of West-Magnitogorsk zone, 3 — metamorphic rocks of Uraltau zone; 4–8 — mafic-ultramafic complex of Mindyak massif: 4 — gabbroic rock, 5 — wehrlite, pyroxenite, gabbro, 6 — spl-pl lherzolite, 7 — spl lherzolite and harzburgite, 8 — serpentinite.

литах иногда отмечается присутствие амфиболов в количестве до 10%.

Габброиды представлены преимущественно телами мелкозернистых габбро-диабазов мощностью 15–30 м. Они обычно более устойчивы к выветриванию по сравнению с перидотитами и образуют в рельефе положительные формы субмеридионального простирания. В габброидах в значительной степени проявлены процессы метасоматизма, приводящие к формированию светло-зеленых и светло-серых апогаббровых пород (родингитов), обладающих в большинстве случаев тонкозернистой структурой. В редких случаях среди них наблюдаются мелкозернистые породы с розовым гранатом. Иногда габброиды нацело замещены метасоматитами, которые слагают тела среди апоперидотитовых серпентинитов.

К востоку меланогаббро сменяются средне и крупнозернистыми габбро и габбро-диоритами (рис. 2). Максимальная ширина выходов габброидов южнее оз. Мигеле достигает 1.2 км. В северных блоках габброиды данного типа практически отсутствуют. На западном берегу оз. Мигеле габброиды представлены преимущественно средне- и крупнозернистыми разновидностями, часто — полоччатыми, которая обусловлена различной меланократовостью пород, преобладают мезократовые габбро. Среди указанных габброидов развиты многочисленные жилы мелко- и тонкозернистых диабазов, встречаются также тела эруптивных брекчий основного состава.

Петрография

Ниже приводится петрографическое описание главных разновидностей габброидов, отобранных нами при проведении работ по геологическому доизучению листа N-40-XVII, начиная от переходного мантийно-корового комплекса (обр. 5656, 5646), собственно габбрового тела (обр. 5640, 5637) и габбро-диабазов в серпентинитовом меланже (обр. 5593). Образец 5656 представляет собой массивную породу темно-серого цвета со слабо выраженной гнейсовидностью, обусловленной линейным расположением агрегатов плагиоклаза. Микроскопически порода определена как меланократовое мелкозернистое габбро, структура гранонематобластовая с линейно-параллельной текстурой. Состав: роговая обманка (60%), плагиоклаз (40%), магнетит (около 1%). Структура и текстура породы характеризуются преобладанием удлиненных призм роговой обманки (размером

от 0.48 до 1.2 мм) над подчиненным количеством более или менее изометричных зерен плагиоклаза (размером от 0.24 до 1.4 мм). Индивиды плагиоклаза затронуты сосюритизацией. В небольшом количестве присутствует рудный минерал (магнетит) в виде изометричных зерен размером до 0.08 мм.

Образец 5646 макроскопически представлен меланократовой породой, переходной к плагиопироксениту, темно-серого цвета, массивного облика, мелкозернистого сложения (0, п мм), характерно наличие струйчатости и ориентировки зерен длинной стороной в одном направлении. Микроскопически порода определяется как роговообманковое габбро. Состав: роговая обманка (65%), плагиоклаз (30%), магнетит (3–5%). Слагающие породу минералы обладают примерно одинаковым идиоморфизмом, что характерно для габбровой структуры. Плагиоклаз (лабрадор-битовнит) в шлифе представлен зернами таблитчатой формы размером от 0.12 до 0.45 мм. Индивиды плагиоклаза полностью сосюритизированы. Роговая обманка образует гипидиоморфные короткопризматические зерна размером от 0.11 до 0.34 мм. Для нее характерны коричневатозеленые цвета интерференции. В ассоциации с роговой обманкой часто отмечается магнетит в виде изометричных зерен размером до 0.13 мм.

В обн. 5640 отобрана массивная порода темно-серого цвета, мелкозернистой структуры (0, п мм), мезократовая. При изучении под микроскопом установлен следующий минеральный состав: плагиоклаз (50%), роговая обманка (45%), магнетит (2–3%), сфен (около 1–2%). Порода сложена плагиоклазом и амфиболом. Слагающие породу минералы обладают примерно одинаковым идиоморфизмом, что характерно для габбровой структуры. Плагиоклаз практически полностью сосюритизирован и частично пелитизирован. Темноцветный минерал представлен в шлифе светло-зеленым уралитом, образующим гипидиоморфные призматические (иногда волокнистые) индивиды размером от 0.18 до 0.65 мм. Рудный минерал в шлифе представлен магнетитом, обычно он ассоциирует с амфиболом. Магнетит образует ксеноморфные изометричные зерна размером до 0.11 мм. В небольшом количестве присутствует сфен, также в виде изометричных зерен.

Обнажение 5637 находится в непосредственной близости от западного берега оз. Мигеле и сложено амфиболитизированными, средне-крупнозернистыми габбро и габбро-диоритами. Текстура трахитоидная, обусловленная линейной ориен-

тировкой агрегатов роговой обманки. Состав: плагиоклаз (58%), амфибол (35%), хлорит (2%), титано-магнетит (1–2%), апатит (2–3%). Порода сложена плагиоклазом и амфиболом. Плагиоклаз в значительной степени изменен и встречается в виде изометричной формы сосюритованных, местами только серицитизированных (и частично пелитизированных) агрегатов размером до 1.8 мм Цветной минерал представлен амфиболом (урали-том) с коричневато-зеленым оттенком плеохроизма, в виде призматических зерен размером 0.5–2.2 мм.

В небольшом количестве присутствует хлорит (пенин с аномальными интерференционными цветами). Титаномагнетит почти всегда замещен лейкоксенном с реликтами «решетки», свидетельствующей о распаде ильменит-магнетитового твердого раствора в первичном минерале. В шлифе присутствует апатит в виде изометричных зерен размером до 0.15 мм.

Обнажения 5591–5593 находятся уже в серпентинитовом меланже, где наряду с габброидами также встречаются измененные вулканиты поля-

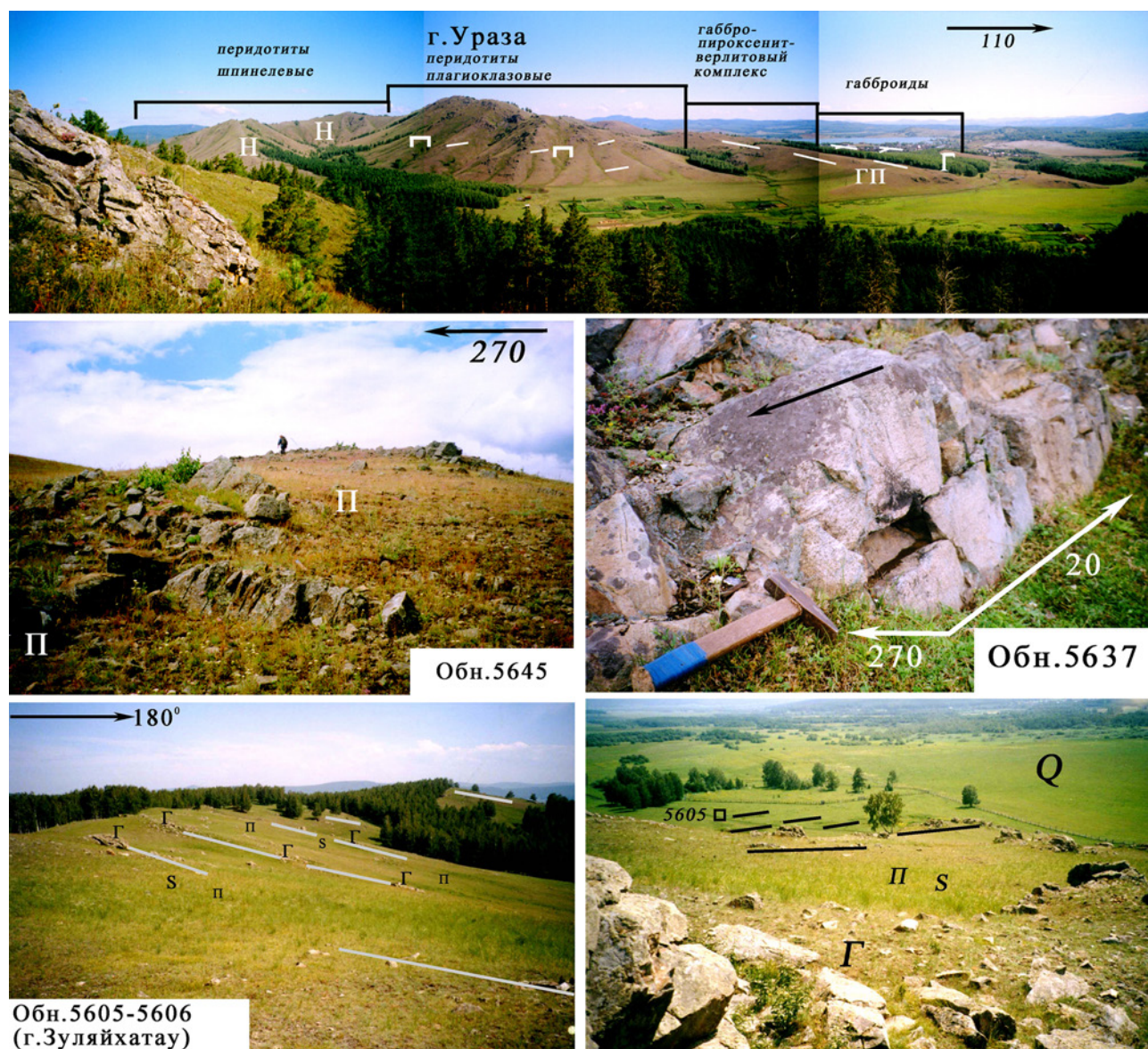


Рис. 2. Общий вид обнажений габброидов Миндякского массива

Условные обозначения: Н — шпинелевые перидотиты, П — верлиты и пироксениты, Г — габбро, S — серпентиниты.

Fig. 2. General view of the gabbro outcrops of Mindyak massif

Legend: Н — spinel peridotite, П — wehrlite and pyroxenite, Г — gabbro, S — serpentinite.

Таблица 1. Химический состав габброидов Миндякского массива
Table 1. Composition of gabbroic rocks from Mindyak massif

№ п/п № обр.	1	2	3	4	5	6	7
<i>Петрогенные оксиды, мас.% (wt. %)</i>							
SiO ₂	60.0	46.2	47.4	47.1	50.1	52.0	48.3
TiO ₂	0.37	0.65	0.67	0.65	0.72	0.72	1.45
Al ₂ O ₃	15.5	16.1	12.1	12.0	14.6	12.5	14.6
FeO+Fe ₂ O ₃	5.5	11.2	10.3	9.55	11.5	10.1	9.1
MnO	0.11	0.18	0.14	0.13	0.15	0.15	0.13
MgO	3.6	6.8	10.1	9.2	8.0	10.05	8.0
CaO	7.5	11.36	12.08	18.06	9.04	9.94	10.36
Na ₂ O	5.4	4.05	2.97	1.1	4.05	2.8	5.94
K ₂ O	0.25	1.05	0.25	0.5	0.25	0.03	0.8
P ₂ O ₅	0.18	0.18	0.06	0.05	0.08	0.08	0.07
ппп	1.82	2.02	4.02	2.52	1.16	1.78	1.76
Сумма	100.23	99.54	99.89	100.6	99.55	100	100.2
<i>Элементы-примеси (ppm)</i>							
Cr	13.7	106.5	387.1	474.1	5102.3	377.5	229.8
Ni	<50	<50	730	<50	2030	530	<50
Co	6.29	36.7	40.1	42.3	116.7	30.5	22.5
Sc	13.8	39.4	42.0	41.6	10.9	43.2	39.1
Rb	35.3	26.5	<10	<10	<10	16.2	28.0
Sr	<50	1190	135	650	315	1150	1525
Zr	<50	160	240	55	60	85	75
Ba	295	665	755	285	36	450	240
Hf	0.59	0.24	1.37	0.85	0.67	0.31	0.27
Ta	0.032	0.0	0.43	—	—	0.51	—
Th	4.73	1.24	0.54	1.69	0.078	1.24	0.95
U	0.53	0.4	1.1	0.54	0.98	0.73	1.33
La	1.95	2.33	1.68	0.62	0.22	1.52	3.19
Ce	5.23	6.58	4.3	2.22	0.33	4.1	7.56
Pr	0.82	1.08	0.7	0.49	0.033	0.69	1.08
Nd	4.53	6.0	3.8	3.53	0.11	3.87	5.1
Sm	1.7	2.14	1.34	1.79	0.019	1.4	1.6
Eu	1.69	0.82	0.14	1.04	0.1	0.087	0.1
Gd	2.76	3.5	2.3	3.03	0.075	2.24	2.73
Tb	0.47	0.56	0.41	0.54	0.018	0.36	0.47
Dy	2.96	3.42	2.7	3.5	0.18	2.4	2.97
Ho	0.71	0.78	0.66	0.87	0.059	0.55	0.73
Er	2.18	2.26	2.02	2.75	0.25	1.68	2.26
Tu	0.35	0.36	0.34	0.46	0.058	0.27	0.39
Yb	1.97	1.92	1.96	2.82	0.5	1.6	2.24
Lu	0.38	0.36	0.4	0.53	0.13	0.28	0.43

Примечание. 1 — диорит, 2–7 — габбро
Note. 1 — diorite, 2–7 — gabbro

ковской свиты и разнообразные осадочные и вулканогенно-осадочные породы, характерные для офиолитовых ассоциаций. Образец 5593 представлен однородным мелкозернистым габбро-диабазом серого цвета. Состав: роговая обманка 45–50%, плагиоклаз — 45–50%, рудные (магнетит) около 5%. Структура габбро-офитовая, мелкозернистая. Для основных породообразующих минералов характерна близкая степень идиоморфизма. Роговая обманка плеохроирует от зеленого до светло-коричневого, преобладают гипидиоморфные зерна 0.1–0.8 мм (чаще 0.5–0.8 мм) по форме преобладают изометричные выделения ($l/n = 1:1$, реже 2:1). В более крупных зернах часто наблюдаются двойники, состоящие из 2–3 сростков. Плагиоклаз на 70% замещен соссюритовым агрегатом и пелитизирован. Свежие зерна встречаются достаточно редко, в основном они мелкие (0.1–0.5 мм) с четким полисинтетическим двойникованием, чаще всего они также образуют идиоморфные выделения ($l/n = 1:1$, реже 2:1). Состав плагиоклаза в большинстве зерен размером 0.3–0.5 мм определяется как андезин (№45). Рудные минералы образуют мелкие зерна (0.1–0.3 мм) по форме от идиоморфных до ксеноморфных, чаще всего они располагаются в интерстициях роговой обманки и плагиоклаза. В крупных зернах роговой обманки иногда встречаются мелкие (0.1 мм) округлые, изометричные пойкилитовые включения плагиоклаза, замещенные соссюритовым агрегатом.

По петрохимическим характеристикам (см. табл. 1) изученные образцы охватывают довольно широкий диапазон составов от меланократовых разновидностей до диоритов (45–60 мас. % SiO_2) при значительных вариациях других главных компонентов (5.5–11.5 мас. % FeO ; 3.6–10.1 мас. % MgO , 7.5–18.06 мас. % CaO) при относительно постоянном содержании глинозема (12.0–16.1 мас. % Al_2O_3). Почти во всех пробах установлены низкие концентрации титана (<1 мас. % TiO_2), и только в одной пробе она достигает 1.45 мас. % TiO_2 . Также значительные вариации характерны для концентрации примесных элементов (ppm): <50 –2030 Ni, 13–5100 Cr, 6–116 Co, Sr <50 –1190, Ba 36–755.

Редкоземельные элементы в изученных пробах обнаруживают четыре типа распределения (рис. 3): 1) аномально низкие содержания с W-образной формой кривой в образце 5645 (меланогаббро), 2) тип распределения РЗЭ с пониженными содержаниями легких лантаноидов и горизонтальной формой графика на уровне десятикратного превышения хондритового уровня для элементов,

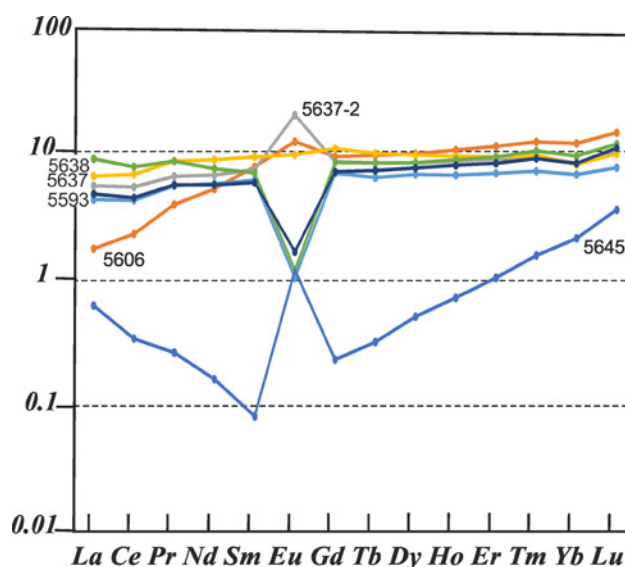


Рис. 3. Хондрит-нормированное распределение редкоземельных элементов в габбро Миндякского массива

Fig. 3. Chondrite-normalized distribution of REE in Mindyak gabbro

начиная с европия (обр. 5606), 3) и 4) типы характеризуются практически горизонтальной формой графика для всех РЗЭ за исключением европия на уровне $\text{PЗЭ}_N=10$. Для них характерны европиевые аномалии: в типе 3 отрицательная (5638, 5593), в типе 4 — положительная (5637, 5637–2).

Минералогия

Основными первичными породообразующими минералами габброидов являлись клинопироксен и плагиоклаз, однако в реальных породах они чаще всего замещены: на месте пироксена обычно наблюдается амфибол (табл. 2, рис. 4), а по плагиоклазу либо развивается соссюритовый агрегат, либо он замещен альбитом.

Клинопироксены в габбро сохранились спорадически как реликты первичной высокотемпературной ассоциации. Они представлены преимущественно авгитом, значительно реже их анализы попадают в поле диопсида (см. рис. 4 а). *Амфиболы* значительно шире пироксенов представлены в образцах габбро Миндякского массива. Согласно классификации из работы [Leake et al., 1997], большая часть полученных анализов попадает в поле магнезиальной роговой обманки (magnesian hornblende) и только несколько точек попали в поле актинолита (см. рис. 4 б). Содержание алюминия в амфиболе чувствительно к изменению

давления при формировании или преобразовании глубинной горной породы, на чем и основаны различные версии «амфиболовых геобарометров» [Hammarstrom, Zen, 1986; Schmidt, 1992; Anderson, Smith, 1995]. Оценка давления по геобарометрам, опубликованным в первых двух работах показала, что только около 70% анализов дают положительную оценку давления, а результаты укладываются в диапазон от 0.7 до 5.1 кбар.

Первичный (магматический) *плаггиоклаз* в изученных образцах габбро не сохранился. Он полностью замещен или альбитом и хлоритом, либо тонкозернистым агрегатом минералов группы эпидота («сосюрит»), а также другими низкотемпературными минералами. Вторичные фазы, развивающиеся по порообразующим силикатам, представлены агрегатами мелких зерен минералов группы эпидота, пренита, цоизита, а также чешуйчатыми выделениями хлорита (рис. 5), сравнительно редко встречается кварц.

Акцессорные минералы в изученных образцах габбро можно разделить на типичные, которые встречаются почти в каждом образце в виде относительно крупных выделений (10–50 мкм) и составляют до 1–3 об. % породы, и редкие мелкие выделения (менее 10 мкм), которые обнаружены в единичных случаях. К первым относятся титанит, титаномагнетит, ильменит и апатит (см. рис. 5). Всего был изучен состав 18 зерен апатита. В 17 зернах присутствует фтор в количестве 1.72–3.88 мас.%. Хлор встречен в 14 образцах в количестве до 0.89 мас. %, а максимальная концентрация установлена в апатите из обр. 5702, единственном, где содержание фтора ниже предела обнаружения. В одном зерне встречена примесь серы в количестве 0.21 мас. %.

Вторая группа акцессориев включает циркон, сульфидные и самородные минералы (халькозин, пирротин, пирит, самородную медь) (см. рис. 5 в, 5 г, 5 е, 6). Из наиболее интересных находок редких акцессорных минералов в изученных нами образцах необходимо отметить обнаружение довольно крупных скоплений зерен циркона размером от 5 до 50 мкм внутри призматических выделений фемических минералов (в клинопироксене, частично замещенном амфиболом) в обр. 5707 (см. рис. 5 г), выделений бадделеита совместно с цирконом по периферии зерна амфибола в обр. 5633 (см. рис. 5 в) и агрегата зерен циркона и торита на контакте амфибола и плаггиоклаза в обр. 5703 (см. рис. 5 д). Следует отметить, что практически все обнаруженные нами в габбро выделения цирконов характеризуются неправильной морфологией.

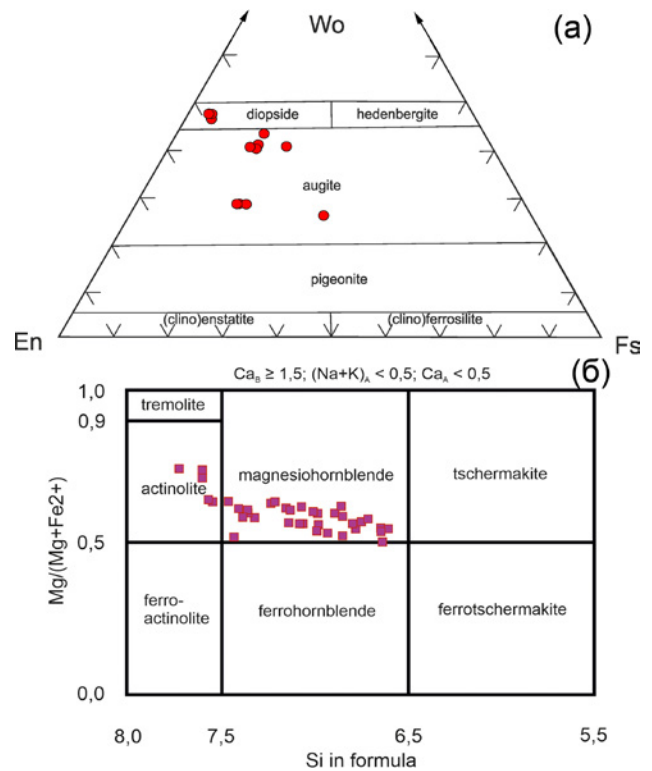


Рис. 4. Классификационные диаграммы для пироксенов и амфиболов Миндякского массива

Условные обозначения: а — по [Morimoto et al., 1989], б — по [Leake et al., 1997]

Fig. 4. Classification diagrams for clinopyroxenes and amphiboles of Mindyak massif

Legend: а — after [Morimoto et al., 1989], б — after [Leake et al., 1997]

Обсуждение результатов и выводы

В работе [Салихов, Беликова, 2007] габброиды восточной части Миндякского мафит-ультрамафитового массива расчленены на пять комплексов. По петрографическому составу четко отделяется лишь комплекс гранатовых габбро-пироксенитов, который имеет локальное распространение в северной части территории (блок Атутэ) и в данном исследовании не рассматривается. Породы остальных четырех комплексов могут быть разделены по геохимическим характеристикам либо по соотношению с ультрамафитами переходного мантийно-корового комплекса, сложенного преимущественно пироксенитами.

По последнему признаку можно выделить три группы габброидов: 1) ассоциирующие с пироксенитами (преимущественно мелкозернистое меланогаббро с гнейсовидной текстурой), 2) массивные габброиды и диабазы, сменяющие пирок-

Таблица 2. Состав клинопироксенов из габброидов Миндякского массива (мас. %)
 Table 2. Composition of clinopyroxenes from gabbroic rocks of Mindyak massif (wt. %)

№ п/п	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12
№ обр.	5633	5633	5633	5633	5633	5707	5709–2	5713	5713	5713
SiO ₂	49.25	50.21	50.27	50.85	52.47	51.02	51.80	54.04	54.04	55.41
TiO ₂	0.62	0.53	0.51	0.44	—	1.15	—	0.20	0.32	—
Al ₂ O ₃	3.02	3.59	3.36	3.07	0.97	3.92	4.75	2.61	3.19	2.04
FeO	13.53	10.23	10.30	9.51	10.25	19.91	2.34	11.48	12.01	11.17
MnO	0.36	0.21	0.27	0.27	0.39	0.28	—	0.16	0.16	0.17
MgO	13.46	15.30	15.60	16.05	14.66	12.10	16.80	17.90	17.13	18.02
CaO	19.60	19.94	19.50	19.82	21.27	11.02	22.39	13.10	12.79	13.04
Na ₂ O	—	—	—	—	—	—	0.71	—	—	—
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	0.23	1.22	0.19	—	0.16
Сумма	99.84	100.01	99.81	100.01	100.01	99.65	100.00	99.68	99.82	100.01

Таблица 3. Средние составы амфиболов из габброидов Миндякского массива (мас. %)
 Table 3. Average compositions of amphiboles from gabbroic rocks of Mindyak massif (wt. %)

№ обр.	5637–2	5637–1	5657–1	5679–2	5679	5702–1	5703	5707	5709–1	5713
Количество анализов	4	1	4	2	2	1	6	6	9	5
SiO ₂	45.52	46.78	47.60	44.30	47.16	50.30	48.79	48.41	47.99	52.01
TiO ₂	0.66	1.09	0.78	1.17	1.00	0.35	0.68	0.73	0.81	0.21
Al ₂ O ₃	8.73	8.97	6.35	9.69	8.24	5.37	5.29	6.52	7.03	3.28
FeO	17.51	15.06	17.92	17.71	15.82	15.95	16.90	16.29	15.93	13.75
MnO	0.85	0.42	0.34	0.55	0.60	0.37	0.35	0.41	0.33	0.22
MgO	11.19	13.55	12.69	11.80	12.71	13.22	13.30	13.04	13.57	15.83
CaO	11.77	10.47	11.35	11.14	11.03	11.68	11.89	11.37	11.39	12.25
Na ₂ O	1.01	1.28	0.91	1.15	1.00	0.69	0.66	0.77	0.73	0.23
K ₂ O	0.75	0.32	0.02	0.50	0.39	—	0.11	0.39	0.16	0.07
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	0.04	0.03	0.07
H ₂ O*	2.00	2.05	2.02	2.01	2.04	2.05	2.03	2.04	2.04	2.07
Sum	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Примечание. * — Определено расчетным методом
 Note. * — Determined by calculation method

сениты в восточном направлении (преимущественно массивные мезократовые разновидности) и 3) крупнозернистые габбро («габбро-пегматиты» по классификации [Салихов, Беликова, 2007]), которые развиты спорадически среди мезократовых габброидов и местами переходящие в диориты.

Геохимические данные, представленные как в работах предшественников, так и в настоящем исследовании, позволяют говорить о том,

что габбро типа 1 скорее всего соответствуют ранним дифференциатам частичного расплава, отделившегося от рестита (низкие содержания РЗЭ, высокие Cr, Ni); габбро типа 2 и 3 по характеру распределения РЗЭ близки к базальтам СОХ, но часто отличаются от них высокими концентрациями стронция и некоторых других редких элементов. В то же время, в габбро типа 3 выявлена нетипичная для офиолитов U-Th минерализация, свидетель-

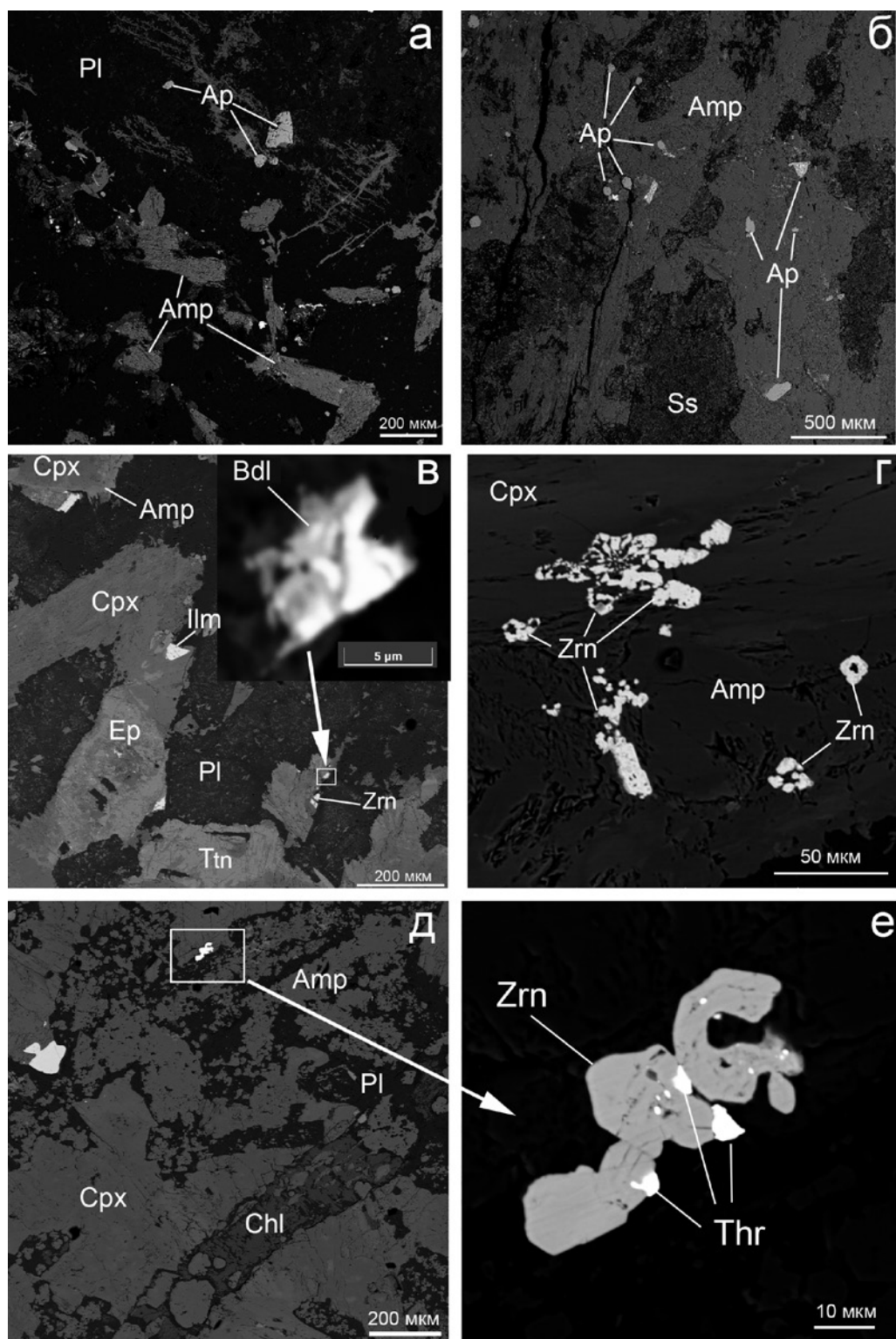


Рис. 5. Морфология породообразующих и аксессуарных минералов в Миндякских габбро

Условные обозначения: Amp — амфибол, Ap — апатит, Bdl — бадделеит, Chl — хлорит, Ep — минералы группы эпидота, Pl — плагиоклаз, Ss — соссуритовый агрегат, Thr — торит, Zrn — циркон; а, б — обр. 5637, в — обр. 5633, г — обр. 5707, д, е — обр. 5703.

Fig. 5. Morphology of main and accessory minerals in Mindyak gabbro

Legend: Amp — amphibole, Ap — apatite, Bdl — baddeleyite, Chl — chlorite, Ep — epidote group minerals, Pl — plagioclase, Ss — saussurite aggregate, Thr — thorite, Zrn — zircon; а, б — обр. 5637, в — обр. 5633, г — обр. 5707, д, е — обр. 5703.

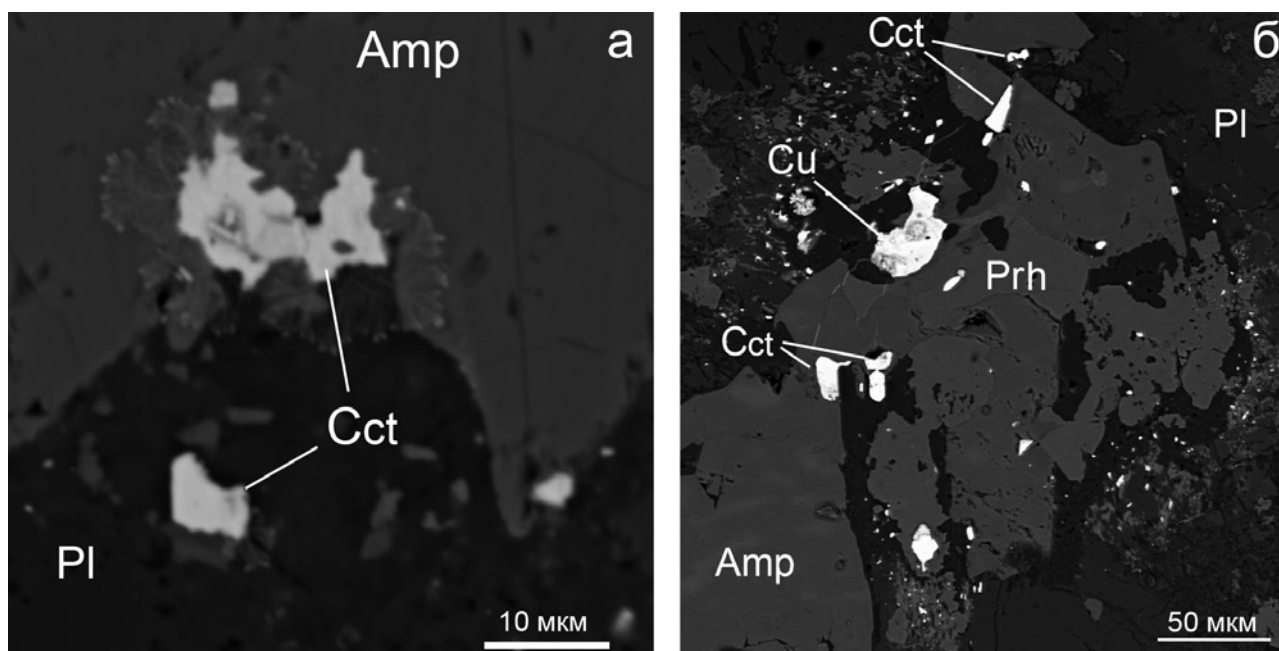


Рис. 6. Самородная и сульфидная минерализация в Миндякских габбро

Условные обозначения: Amp — амфибол, Cct — халькозин, Cu — самородная медь, Pl — плагиоклаз, Prh — пренит; а — обр. 5657, б — обр. 5709.

Fig. 6. Native and sulfide accessory minerals in Mindyak gabbro

Legend: Amp — amphibole, Cct — chalcocite, Cu — native copper, Pl — plagioclase, Prh — prehnite; а — обр. 5657, б — обр. 5709.

Таблица 4. Состав редких акцессорных минералов из габброидов Миндякского массива (мас. %)
 Table 4. Composition of rare accessory minerals from gabbroic rocks of Mindyak massif (wt. %)

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ образца	5703	5703	5707	5707	5707	5633	5703	5703	5703
SiO ₂	31.76	31.62	31.69	31.52	31.67	2.93	22.03	21.20	21.30
TiO ₂	—	—	—	—	—	0.90	—	—	—
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	0.53	0.99	0.76
FeO	0.35	0.50	0.72	0.94	0.71	1.16	0.45	0.51	1.28
MgO	—	—	—	—	—	—	—	—	0.62
CaO	—	—	—	—	0.36	0.16	2.28	1.82	1.73
Na ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	0.38	—
ZrO ₂	67.16	67.23	67.45	66.42	64.32	93.16	1.71	—	5.39
HfO ₂	0.74	0.65	0.00	1.02	0.80	1.70	—	—	—
ThO ₂	—	—	—	—	—	—	54.04	57.97	51.74
UO ₂	—	—	—	—	1.17	—	18.96	17.12	17.17
Всего	100.01	100.00	99.86	99.90	99.04	100.01	100.00	99.99	99.99

Примечание. 1–5 — циркон, 6 — бадделейт, 7–9 — торит
 Note. 1–5 — zircon, 6 — baddeleyite, 7–9 — thorite

ствующая скорее всего о влиянии на генерацию расплавов корового источника. Эти находки ставят новые проблемы в изучении габбрового разреза массива и оставляют открытыми вопросы геодинамической интерпретации отдельных членов мафит-ультрамафитовой ассоциации.

О наличии Zr-U-Th минерализации в пределах корового разреза Миндякского офиолитового комплекса ранее сообщалось в работах И. А. Готтман с соавторами [Готтман и др., 2013, 2015, 2018]. В гранатых пироксенитах северной части комплекса (г. Атутэ) ими описаны находки шриланкита и кимрита в ассоциации с ильменитом, рутилом и цирконом. Основываясь на оценках температур и давлений, авторы делают вывод о глубинном происхождении данной минерализации в результате метасоматоза при высоких РТ-параметрах.

Возвращаясь к изученным нами габбро, следует отметить, что нами рассчитаны РТ-условия их образования, исходя из состава наиболее информативных пороодообразующих минералов. Оценки РТ-условий по амфиболовому барометру показывают наличие двух максимумов значений — 2.8–5.1 кбар и менее 2 кбар, которые скорее всего фиксируют два разных этапа в становлении пород — автометаморфизм в магматической камере при остывании и взаимодействии с магматическими флюидами (магнезиальная роговая обманка), и низкотемпературные (зеленокаменные) преобразования (актинолит).

В заключении необходимо кратко прокомментировать особенности морфологии акцессорных минералов габбро на примере апатита и циркона и их значение для интерпретации петрологии и истории формирования пород, тем более что оба минерала чаще всего встречаются в одной и той же позиции — в виде включений в темноцветных минералах. На приведенных снимках хорошо виден контраст выделений этих минералов в измененных габбро: апатит сохраняет присущие ему кристаллографические очертания (см. рис. 4 а, 4 б), являясь устойчивым первичным минералом в условиях низкотемпературного изменения пород, а циркон либо интенсивно деформирован (см. рис. 4 в), либо подвержен растворению (см. рис. 4 г), что противоречит устоявшемуся мнению о его «живучести». Можно предположить и альтернативный вариант образования комковатых агрегатов циркона — гидротермальный (?), но это еще более усугубляет перспективы использования его в качестве «авторитетного» минерала для датирования измененных магмати-

ческих пород. Наличие субмикронных выделений в цирконе минералов U-Th состава и бадделеита, приуроченных к периферическим частям зерен, говорит также об изменениях в первичном составе минерала-хозяина.

Таким образом, основные выводы из проведенных исследований могут быть сформулированы следующим образом:

1. Габброиды Миндякского массива охватывают широкий диапазон составов от меланогаббро до диоритов, демонстрируя также значительные вариации содержаний петрогенных оксидов и элементов-примесей; распределение РЗЭ в большей части изученных проб габброидов сходно с таковым в базальтах СОХ, но часто отличается от них высокими концентрациями стронция и некоторых других редких элементов (U, Th).

2. В габброидах восточной части массива установлена собственная U-Th минерализация в ассоциации с агрегатами ксеноморфных зерен циркона; происхождение данных находок в рамках настоящего исследования не установлено.

3. Оценки РТ-условий формирования габброидов по амфиболовому барометру показывают наличие двух максимумов значений — 2.8–5.1 кбар (магнезиальная роговая обманка) и менее 2 кбар (актинолит), которые, скорее всего, фиксируют два разных этапа в становлении пород — автометаморфизм в магматической камере при остывании и взаимодействие с магматическими флюидами, и низкотемпературные преобразования.

4. Все находки циркона в габброидах свидетельствуют о значительном влиянии наложенных низкотемпературных процессов на первоначальную форму и состав минерала, что говорит о его слабой устойчивости к действию внешних факторов по сравнению с другими акцессориями (апатитом).

Список литературы

Готтман И. А., Пушкарев Е. В., Главатских С. П. Кимрит из высокобарических гранатитов Миндякского массива на Южном Урале // Вестник Уральского отделения Российского Минералогического общества. — № 10. — Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2013. — С. 17–20.

Готтман И. А., Пушкарев Е. В., Хиллер В. В. U-Zr-Ti-ассоциация минералов в высокобарических гранатитовых породах Миндякского массива (Южный Урал) // Ежегодник-2014. — Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 162, 2015. — С. 155–158.

Готтман И. А., Пушкарев Е. В., Хиллер В. В. Урансодержащий шриланкит из высокобарических гранатов Южного Урала: первые данные // Доклады РАН. —

2018. — Т. 419. — С. 529–533. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18040244>.

Денисова Е. А. Внутренняя структура Миндякского ультраосновного массива (Южный Урал) // Докл. АН СССР. — 1984. — Т. 274. — № 2. — С. 382–387.

Знаменский С. Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: «Гилем». — 2009. — 348 с.

Косарев А. М. Геология и геохимические особенности раннепалеозойских вулканитов Сакмарской и Вознесенско-Присакмарской зон на Южном Урале // Литосфера. — Уфа: Институт геологии УНЦ РАН, 2015. — № 2. — С. 40–64.

Косарев А. М. Особенности распределения MgO, K₂O и TiO₂ и некоторых микроэлементов в базальтах океанов, континентов и раннепалеозойских палеовулканических поясов Южного Урала // Геологический сборник № 10. Информационные материалы. — Уфа: Институт геологии УНЦ РАН, 2013. — С. 143–154.

Краснобаев А. А., Русин А. И., Русин И. А., Бушарина С. В. Цирконы, цирконовая геохронология и вопросы петрогенезиса лерцолитовых массивов Южного Урала // Геохимия, 2011. — № 5. — С. 506–522.

Кузнецов Д. В. Изменение химического состава минералов оливин-шпинель-пироповых вебстеритов Миндякского массива как отражение эволюции этих пород // Ежегодник-2016. — Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 164, 2017. — С. 214–218.

Кузнецов Д. В., Пушкарев Е. В., Готтман И. А. Состав хромшпинелидов из оливин-шпинель-пироповых вебстеритов Миндякского массива // Ежегодник-2013. — Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 161, 2014. — С. 274–278.

Пушкарев Е. В., Рязанцев А. В., Третьяков А. А., Белова А. А., Готтман И. А. Гранатовые ультрамафиты и мафиты в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале: петрология, возраст и проблема образования // Литосфера. — 2010. — № 5. — С. 101–133.

Савельев Д. Е., Гатауллин Р. А., Гайфуллин Р. Ю. Минералого-геохимические особенности и условия образования ультрамафитов Миндякского массива (Южный Урал) // Вестник АН РБ, — 2022. — Т. 42, № 1 (105). — С. 47–57. DOI: 10.24412/1728-5283_2022_1_47_57

Салихов Д. Н. Офиолиты и оруденение в зоне Главного Уральского разлома // Геологический сборник № 7. Юбилейный выпуск. — Уфа: Институт геологии УНЦ РАН, 2008. — С. 126–134.

Салихов Д. Н., Беликова Г. И. Габброиды зоны меланжа Главного Уральского разлома // Геологический сборник № 6. Информационные материалы. — Уфа: Институт геологии УНЦ РАН, 2007. — С. 106–125.

Сервакин И. Б., Знаменский С. Е., Косарев А. М. Разрывная тектоника и рудоносность Башкирского Зауралья. Уфа: Полиграфкомбинат. — 2001. — 318 с.

Anderson J. L., Smith D. R. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer // American Mineralogist. 1995. V. 80. P. 549–559.

Hammarstrom J. M., Zen E.-an. Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer // American Mineralogist. 1986. V. 71. P. 1297–1313.

Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne W. C., Kato A., Kisch K. J., Krivovichev V. G., Lithout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresch W. V., Nickel E. A., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Youzhi G. Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names // European Journal of Mineralogy. 1997. V. 9. — P. 623–651.

Morimoto N. Nomenclature of pyroxenes // Canadian mineralogist. 1989. V. 27. P. 143–156.

Savelieva G. N., Sharaskin A. Ya., Saveliev A. A., Spadea P., Gaggero L. Ophiolites of the southern Uralides adjacent to the East European continental margin // Tectonophysics, 1997. V. 276. P. 117–137.

Scarrow J. H., Savelieva G. N., Glodny J., Montero P., Pertsev A. N., Cortesogno L., Gaggero L. The Mindyak palaeozoic lherzolite ophiolite, Southern Urals: geochemistry and geochronology // Ofioliti, 1999. V. 24. № 2. P. 239–246.

Scarrow J. H., Spadea P., Cortesogno L., Savelieva G. N., Gaggero L. Geochemistry of garnet metagabbros from the Mindyak ophiolite massif Southern Urals // Ofioliti, 2000. V. 25. № 2. P. 103–115.

Schmidt M. W. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1992. V. 110. P. 304–310.

Spadea P., D'Antonio M. Initiation and evolution of intra-oceanic subduction in the Uralides: Geochemical and isotopic constraints from Devonian oceanic rocks of the Southern Urals, Russia // Island Arc, 2006. V. 15. P. 7–25.

Tessalina S. G., Gannoun A., Bourdon B., Capmas F., Garuti G., Pushkarev E. V., Orgeval J. J., Birck J. L., Allegre C. J. Ocean crust formation age in the Southern Urals: example of the Mindyak ophiolite complex // Conference: EGS-AGU-EUG Joint Assembly, 6–11 April 2003At: Nice, France Volume.

Tessalina S. G., Bourdon B., Gannoun A., Capmas F., Birck J. L., Allegre C. J. Complex proterozoic to paleozoic history of the upper mantle recorded in the Urals lherzolite massifs by Re-Os and Sm-Nd systematics // Chemical Geology, 2007. V. 240. P. 61–84.

Whitney D. L., Evans B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // American Mineralogist, 2010. V. 95. P. 185–187

References

Anderson J. L., Smith D. R. (1995). The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer // American Mineralogist. V. 80. P. 549–559.

Denisova E. A. (1984). Internal structure of Mindyak ultrabasic massif (the Southern Urals) // Doklady of Earth Science. V. 274. Is. 2. P. 382–387. (in Russian).

Gottman I. A., Poushkarov Ye. V., Khiller V. V. (2015). U-Zr-Ti-association of minerals in high-pressure garnet rocks [U-Zr-Ti-association of minerals in high-pressure garnet rocks

of the Mindyak massif (Southern Urals)]. *Yezhegodnik-2014 — Yearbook-2014*. V. 162. IGG UB RAS Publ., 155–158 p. (In Russian).

Gottman I. A., Pushkarev E. V., Khiller V. V. (2018). Uranium-Bearing Srilankite from High-Pressure Garnetites of the Southern Urals: First Data. *Doklady Earth Sciences*, V. 479. Part 2. P. 529–533. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18040244>

Gottman I. A., Pushkarev E. V., Khiller V. V. (2018). Uranium-Bearing Srilankite from High-Pressure Garnetites of the Southern Urals: First Data // *Doklady Earth Sciences*. V. 479. Part 2. P. 529–533. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18040244>

Gottman I. A., Pushkarev Ye. V., Glavatskikh S. P. (2013). Kimrit iz vysokobaricheskikh granatitov Mindyaksogo massiva na Yuzhnom Urale [Kimrite from high-pressure garnetites of the Mindyak massif in the Southern Urals]. *Vestnik Ural'skogo otdeleniya Rossiyskogo Mineralogicheskogo obshchestva № 10 — Bulletin of the Ural Branch of the Russian Mineralogical Society*. № 10. Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 17–20 p. (In Russian).

Hammarstrom J. M., Zen E.-an. (1986). Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer // *American Mineralogist*. V. 71. P. 1297–1313.

Kosarev A. M. (2013). Osobennosti raspredeleniya MgO, K₂O i TiO₂ i nekotorykh mikroelementov v bazal'takh okeanov, kontinentov i rannepaleozoyskikh paleovulkanicheskikh poyasov Yuzhnogo Urala [Features of the distribution of MgO, K₂O and TiO₂ and some trace elements in basalts of the oceans, continents and early Paleozoic paleovolcanic belts of the Southern Urals]. *Geologicheskii sbornik № 10. Informatsionnye materialy — Geologicheskii sbornik № 10. Informatsionnye materialy*. Institut geologii UNC RAS, Ufa, Russia, 143–154 p. (In Russian).

Kosarev A. M. (2015). Geologiya i geokhimicheskie osobennosti rannepaleozoyskikh vulkanitov Samarskiy i Voznesenskoye-Prisakmarskoy zon na Yuzhnom Urale [Geology and geochemical features of the Early Paleozoic volcanic rocks of the Sakmara and Voznesenskoye-Samara zones in the Southern Urals]. *Litosfera*, No 2. Institut geologii UNC RAS, Ufa, Russia, 40–64 p. (In Russian).

Krasnobayev A. A., Rusin A. I., Rusin I. A., Busharina S. V. (2011). Tsirkony, tsirkonovaya geokhronologiya i voprosy petrogenezisa lertsolitovykh massivov Yuzhnogo Urala [Zircons, zircon geochronology and issues of petrogenesis of lherzolite massifs of the Southern Urals]. *Geochemistry*, № 5. P. 506–522. (In Russian).

Kuznetsov D. V. (2017). Izmereniya khimicheskogo sostava mineralov olivin-shpinel' — piropovykh vebsteritov Mindyaksogo massiva kak otrazheniye evolyutsii etikh porod [Changes in the chemical composition of minerals in olivine-spinal-pyropo websterites of the Mindyak massif as a reflection of the evolution of these rocks]. *Yezhegodnik-2016 — Yearbook-2016*. V. 164. IGG UB RAS Publ., 214–218 p. (In Russian).

Kuznetsov D. V., Pushkarev Ye. V., Gottman I. A. (2014). Sostav khromshpinelidov iz olivin-shpinel' — piropovykh vebsteritov Mindyaksogo massiva [Composition of Cr-spinels

from olivine-spinel-pyropo websterites of the Mindyak massif]. *Yezhegodnik-2013 — Yearbook-2013*. V. 161. IGG UB RAS Publ., 274–278 p. (In Russian).

Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne W. C., Kato A., Kisch K. J., Krivovichev V. G., Lithout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresch W. V., Nickel E. A., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Youzhi G. (1997). Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names // *European Journal of Mineralogy*. V. 9. P. 623–651.

Morimoto N. (1989). Nomenclature of pyroxenes // *Canadian mineralogist*. V. 27. P. 143–156.

Pushkarev E. V., Ryazantsev A. V., Tretyakov A. A., Belova A. A., Gottman I. A. (2010). Granatovyie ul'tramafity i mavity v zone Glavnogo Ural'skogo razloma na Yuzhnom Urale: petrologiya, vozrast problema obrazovaniya [Garnet ultramafic and mafic rocks in the zone of the Main Ural Fault in the Southern Urals: petrology, age and problem of formation]. *Lithosphere*, № 5. P. 101–133. (In Russian).

Salikhov D. N. (2008). Ofiolity i orudneniye v zone nablyudeniya Glavnogo Ural'skogo razloma [Ophiolites and mineralization in the observation zone of the Main Ural fault]. *Geologicheskii sbornik. Yubileynyy vypusk — Geological collection. Anniversary issue. (№ 7)*, UNC RAS Publ., Ufa, Russia, 126–134 p. (In Russian).

Salikhov D. N., Belikova G. I. (2007). Gabbroidy zony melanzha Glavnogo Ural'skogo razloma [Gabbroids of the melange zone of the Main Ural fault]. *Geologicheskii sbornik. Informatsionnye materialy — Geological collection. Information materials. (№ 6)*, UNC RAS Publ., Ufa, Russia, 106–125 p. (In Russian).

Saveliev D. E., Gataullin R. A., Gayfullin R. Yu. (2022). Mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti i usloviya obrazovaniya ultramafitov Mindyaksogo massiva (Yuzhnyy Ural) [Mineralogical and geochemical features of formation of Mindyak ultramafic massif (the Southern Urals)] // *Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. V. 42. Is. 1 (105). P. 47–57. DOI: 10.24412/1728-5283_2022_1_47_57

Savelieva G. N., Sharaskin A. Ya., Saveliev A. A., Spadea P., Gaggero L. (1997). Ophiolites of the southern Uralides adjacent to the East European continental margin // *Tectonophysics*. V. 276. P. 117–137.

Scarrow J. H., Savelieva G. N., Glodny J., Montero P., Pertsev A. N., Cortesogno L., Gaggero L. (1999). The Mindyak palaeozoic lherzolite ophiolite, Southern Urals: geochemistry and geochronology // *Ofioliti*. V. 24. № 2. P. 239–246.

Scarrow J. H., Spadea P., Cortesogno L., Savelieva G. N., Gaggero L. (2000). Geochemistry of garnet metagabbros from the Mindyak ophiolite massif Southern Urals // *Ofioliti*. V. 25. № 2. P. 103–115.

Schmidt M. W. (1992). Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the AI-in-hornblende barometer // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. V. 110. P. 304–310.

Seravkin I. B., Znamensky S. E., Kosarev A. M. (2001). Razryvnaya tektonika i rudonosnost' Bashkirskogo Zaural'ya

[Crack tectonic and ore-bearing of Bashkirian Zauralye]. Ufa: Poligrafkombinat. 318 p. (In Russian).

Spadea P., D'Antonio M. (2006). Initiation and evolution of intra-oceanic subduction in the Uralides: Geochemical and isotopic constraints from Devonian oceanic rocks of the Southern Urals, Russia // *Island Arc*, V. 15. P. 7–25.

Tessalina S.G., Gannoun A., Bourdon B., Capmas F., Garuti G., Pushkarev E.V., Orgeval J.J., Birck J.L., Allegre C.J. (2003). Ocean crust formation age in the Southern Urals: example of the Mindyak ophiolite complex // Conference: EGS-AGU-EUG Joint Assembly, 6–11 April 2003At: Nice, FranceVolume.

Tessalina S.G., Bourdon B., Gannoun A., Capmas F., Birck J.L., Allègre C.J. (2007). Complex proterozoic to paleozoic history of the upper mantle recorded in the Urals lherzolite massifs by Re-Os and Sm-Nd systematics // *Chemical Geology*, V. 240. P. 61–84.

Whitney D.L., Evans B.W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals // *American Mineralogist*. V. 95. P. 185–187.

Znamensky S.E. (2009). Strukturnye usloviya formirovaniya kollizionnykh mestorozhdeniy zolota vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala [Structural conditions of formation of orogenic Au deposits on the east slope of the Southern Urals]. Ufa: Gilem. 348 p.

Сведения об авторах

Савельев Дмитрий Евгеньевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии, Уфимский Федеральный исследовательский центр РАН, ул. К. Маркса, 16/2, 450077, г. Уфа, Российская Федерация, sav171@mail.ru

Гатауллин Руслан Азатович, младший научный сотрудник, Институт геологии, Уфимский Федеральный исследовательский центр РАН, ул. К. Маркса, 16/2, 450077, г. Уфа, Российская Федерация, rusgatln97@gmail.com

Савельева Елена Николаевна, заведующая лабораторией литологических исследований, ООО РН-БашНИПИнефть ул. Ленина, 86/1, 450077, г. Уфа, Российская Федерация, savelnik79@yandex.ru

Юмагулова Дилара Ильшатовна, инженер-исследователь, Институт геологии, Уфимский Федеральный исследовательский центр РАН, ул. К. Маркса, 16/2, 450077, г. Уфа, Российская Федерация, d_yumagulova@mail.ru

About the authors:

Saveliev Dmitry Evgenievich, Institute of Geology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Karl Marks str. 16/2, Ufa, 450077 Russia; sav171@mail.ru

Gataullin Ruslan Azatovich, Institute of Geology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Karl Marks str. 16/2, Ufa, 450077 Russia; rusgatln97@gmail.com

Savelieva Elena Nikolaevna, ООО RN-BashNIPIneft, Lenina str., 86/1, 450077 Ufa, Russia; savelnik79@yandex.ru

Yumagulova Dilara Il'shatovna, Institute of Geology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Karl Marks str. 16/2, Ufa, 450077 Russia; d_yumagulova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.02.2023; одобрена после рецензирования 14.02.2023; принята к публикации 13.03.2023

The article was submitted 10.02.2023; approved after reviewing 14.02.2023; accepted for publication 13.03.2023