

Научная статья

УДК 552.111 + 552.23

DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-6

## ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАББРО-ДОЛЕРИТОВ СУРАНСКОГО ФЛЮОРИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А. А. Самигуллин, Д. Е. Савельев, А. М. Васильев, В. Н. Никонов

*Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450077, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2, samigullinaidar85@gmail.com*

Приведена петрохимическая и минералогическая характеристика тела габбро-долеритов Суранского флюоритового месторождения. Исследуемое тело обладает структурной и микроэлементной неоднородностью. Впервые интрузивные породы данного месторождения были исследованы с помощью растровой электронной микроскопии. Выявлено высокое содержание кобальта и никеля в пирите. Установлено три типа пирита и два типа манганоильменита. Условия образования клинопироксена коррелируют с геодинамической позицией интрузивных пород.

*Ключевые слова:* Суранское месторождение, габбро-долерит, флюорит, пирит, клинопироксен, манганоильменит

*Благодарности:* работа выполнена в рамках госзадания ИГ УФИЦ РАН (тема № FMRS-2022-0012).

Original article

## PETROCHEMICAL AND MINERALOGICAL FEATURES OF GABBRO-DOLERITES OF SURAN FLUORITE DEPOSIT (SOUTHERN URAL)

A. A. Samigullin, D. E. Saveliev, A. M. Vasiliev, V. N. Nikonov

*Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Karl Marx str. 16/2, Ufa, 450077, Russia; samigullinaidar85@gmail.com*

The manuscript provides a petrochemical and mineralogical description of the gabbro-dolerite body of the Suran fluorite deposit. The investigated body has structural and microelement heterogeneity. For the first time, intrusive rocks of this deposit were studied using scanning electron microscopy. A high content of cobalt and nickel in pyrite was revealed. Three types of pyrite and two types of manganilmenite have been identified. The conditions for the formation of clinopyroxene correlate with the geodynamic position of intrusive rocks.

*Keywords:* Suran deposit, gabbro-dolerite, fluorite, pyrite, clinopyroxene, manganilmenite

*Acknowledgements:* The work was carried out within the framework of the of the Theme No. FMRS-2022–0012.

---

**Для цитирования:** Самигуллин А. А., Савельев Д. Е., Васильев А. М., Никонов В. Н. Петрохимические и минералогические особенности габбро-долеритов Суранского флюоритового месторождения (Южный Урал) // Геологический вестник. 2024. № 1. С. 76–90. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-6

**For citation:** Samigullin A. A., Saveliev D. E., Vasiliev A. M., Nikonov V. N. (2024) Petrochemical and mineralogical features of gabbro-dolerites of Suran fluorite deposit (Southern Ural). *Geologicheskii vestnik*. 2024. No. 1. P. 76–90. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-6

---

© А. А. Самигуллин, Д. Е. Савельев, А. М. Васильев, В. Н. Никонов, 2024

## Введение

Суранское месторождение флюорита было открыто Н. Н. Ларионовым в 1985 году при проведении работ ГДП-50 [Ларионов и др., 1985; Ларионов и др., 1987]. Флюоритовое оруденение представлено двумя типами: жильным и прожилково-вкрапленным [Ларионов и др., 2015]. Мощность жил от 1 до 8 метров, а всей рудоносной зоны до 23 метров. Вертикальный размах оруденения до 350 метров. Простираение зоны более километра [Ларионов и др., 2015]. Общие запасы и прогнозные ресурсы оценены в 4 млн т. месторождение является средним по запасам и характеризуется высоким качеством сырья [Магадеев и др., 1997]. Низкие содержания редкоземельных элементов благоприятствуют использованию флюорита в качестве оптического сырья в приборах ночного видения [Юшкин, Маркова, 1988]. Месторождение эксплуатируется по сей день.

Наиболее полная характеристика по магматизму Башкирского мегантиклинория приведена в монографии [Алексеев, 1984]. Отдельным вопросам магматизма посвящён целый ряд публикаций [Ковалёв, 2008; 2011; Носова и др., 2012; Сазонова и др., 2011].

Интрузивный магматизм приурочен к зоне Суранского субмеридионального разлома и представлен дайками пород основного состава [Алексеев, Алексеева, 1981; Алексеев, 1984]. Исследуемые тела датированы по цирконам U/Pb методом (SHRIMP 2) с поздневендским средним значением  $570 \pm 6$  млн лет [Вендские..., 2022].

Основной целью данной работы являлось минералого-петрохимическое изучение интрузивных габбро-долеритов, в том числе — петрографические особенности и состав породообразующих минералов, характеристика акцессорной минерализации, особенности распределения некоторых микроэлементов. До сих пор интрузивные породы месторождения не были исследованы методами растровой электронной микроскопии.

## Геологическое строение района

Исследуемая территория расположена в ядре Башкирского мегантиклинория, сложенного верхнепротерозойскими породами. Месторождение Суранское локализовано в отложениях суранской свиты нижнего рифея (рис. 2) [Ларионов и др., 2015].

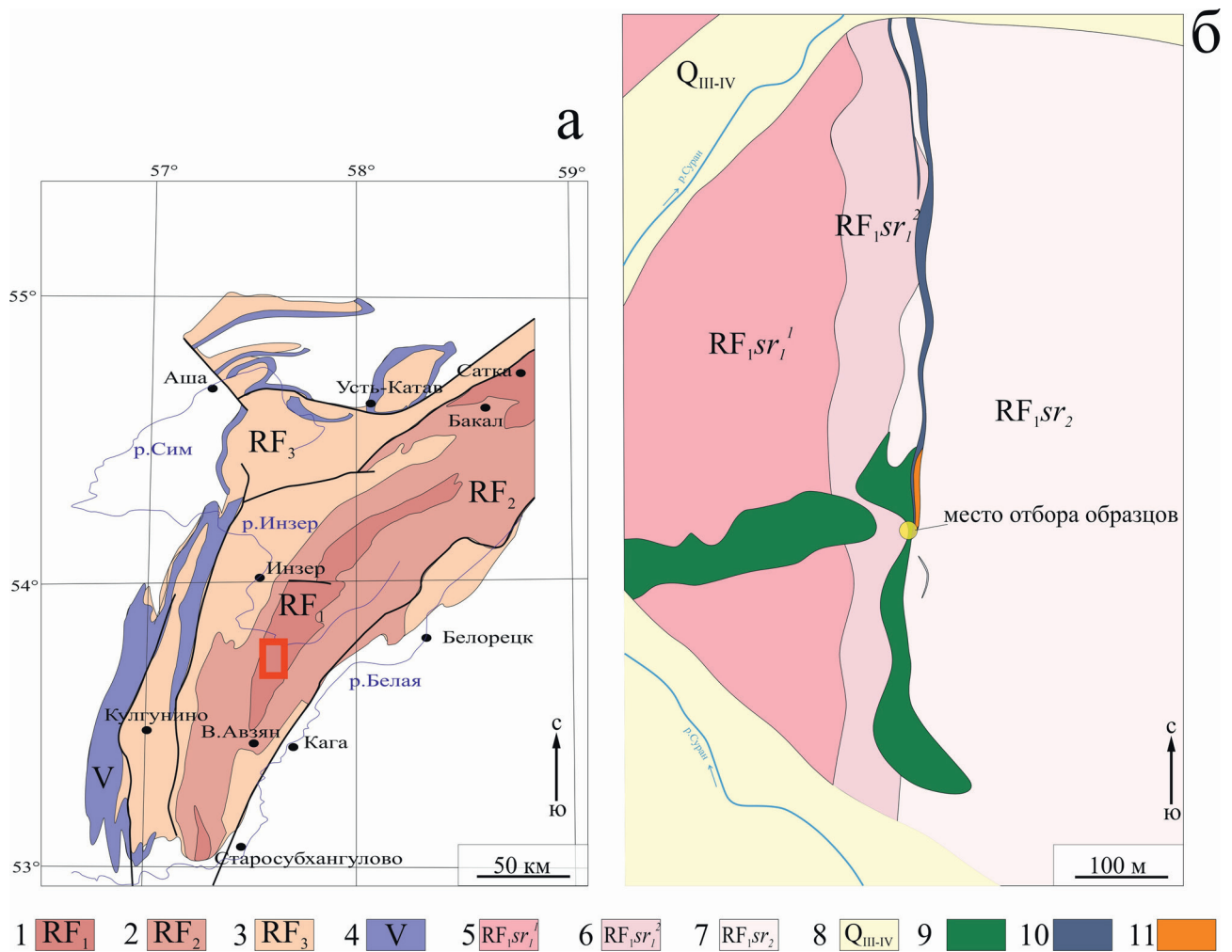
Суранская свита представлена терригенно-карбонатными образованиями и разделяется на пять подсвит: миньякскую, бердагуловскую, ангастакскую, сердаукскую и лапыштинскую. Миньякская



Рис. 1. Снимок исследуемой меридиональной дайки с сульфидной минерализацией на фоне белых мешков с рудой. Поперек к ней бурая масса — субширотная более древняя дайка, превращенная в кору выветривания

Fig. 1. An image of the studied meridianal dike with sulfide mineralization against the background of white big bags with ore. Across to it is a brown mass — a sublatitudinal, more ancient dike, transformed into weathering crust

подсвита ( $R_1sr_1$ ) сложена преимущественно мелкокристаллическими серыми доломитами и известняками с редкими маломощными прослоями углисто-глинисто-карбонатных сланцев. Отложения подсвиты протягиваются с севера на юг в виде двух узких прерывистых полос, обнаженность слабая. Бердагуловская подсвита ( $R_1sr_2$ ) сложена чередующимися глинистыми и углисто-глинистыми сланцами, часто известковистыми, алевролитами, доломитами и известняками. Ангастакская подсвита ( $R_1sr_3$ ) широко распространена в Башкирском антиклинории, слагая обширные пространства в верховьях рек Бол. Авзян и Бол. Инзер, обнаженность её неравномерная, фрагменты разрезов отмечаются по долинам рек Бол. Инзер, Суран, Ишля, Сюрюнзяк, Сердаукская подсвита ( $R_1sr_4$ ) представлена преимущественно глинистыми и углисто-глинистыми сланцами, алевролитами с прослоями известняков и доломитов, она пользуется сравнительно небольшим распространением, прослеживаясь в виде узких полос на крыльях Ишлинской и Лапыштинской синклиналей. Лапыштинская подсвита ( $R_1sr_5$ ) сложена преимущественно известняками и доломитами с прослоями сланцев. В полосе распространения карбонатов преобладает слабо всхолмленный рельеф с мягкими сглаженными формами, что обуславливает слабую обнаженность [Ларионов и др., 2015].



**Рис. 2. Геологическое строение исследуемой территории**

Условные обозначения: а — положение месторождения в Башкирском мегантиклинории [Пучков, 2010]; б — геологическая схема месторождения [Никонов и др., 2015]: 1 — нижний рифей (бурзянская серия); 2 — средний рифей (юрматинская серия); 3 — верхний рифей (каратауская серия); 4 — венд; 5 — нижняя пачка миньякской подсвиты суранской свиты: доломиты, алевролиты, сланцы; 6 — верхняя пачка миньякской подсвиты суранской свиты: известняки, сланцы, алевролиты; 7 — бердагуловская подсвита: сланцы, алевролиты, доломиты; 8 — четвертичные аллювиальные отложения; 9 — интрузивные тела габбро-долеритов; 10 — флюоритовое тело; 11 — селлаит-флюоритовое тело.

**Fig. 2. Geological structure of the study area**

Legend: а — the position of the deposit in the Bashkir meganticlinorium (Puchkov, 2010); б — geological scheme of the deposit [Nikonov et al, 2015]: 1 — Lower Riphean (Burzyan); 2 — Middle Riphean (Yurmatinian series); 3 — Upper Riphean (Karatau series); 4 — vend; 5 — lower member of the Mynyak subformation of the Suran formation: dolomites, alevrolites, shales; 6 — upper member of the Mynyak subformation of the Suran formation: limestone, shales, alevrolites; 7 — Berdagulov subformation: shales, alevrolites, dolomites; 8 — quaternary alluvial deposits; 9 — intrusive bodies of gabbro-dolerites; 10 — fluorite body; 11 — cellaite-fluorite body.

### Методика исследований

При проведении полевых работ на карьере Суранского месторождения были отобраны штуфные пробы долеритов весом около 0.5 кг в южной стенке карьера вкост простирания субмеридиональной дайки. При лабораторных исследованиях применялись методы оптической и электронной микроскопии. Из образцов были изготовлены петрографические шлифы, которые изучались под поляризационным микроскопом Zeiss Axioskop 40. Электронно-микроскопические исследования и изучение составов минералов проводились на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact с энерго-дисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments. Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с использованием методики TrueQ. При съемке использованы следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3–4 нА, время накопления спектра в точке 20 секунд в режиме «Point&ID».

Методом рентгенофлуоресцентного анализа в порошковых пробах определялся макроэлементный химический состав пород (спектрометр VRA-30, Carl Zeiss с рентгеновской трубкой с W-анодом (30–40 кВ, 40 мА). Установлены содержания некоторых микроэлементов (Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Nb, Ga), для большинства из которых предел обнаружения составлял 0.001 мас. %. Все аналитические исследования проведены в ИГ УФИЦ РАН (Уфа).

### Результаты и обсуждение

#### Петрографическая характеристика пород

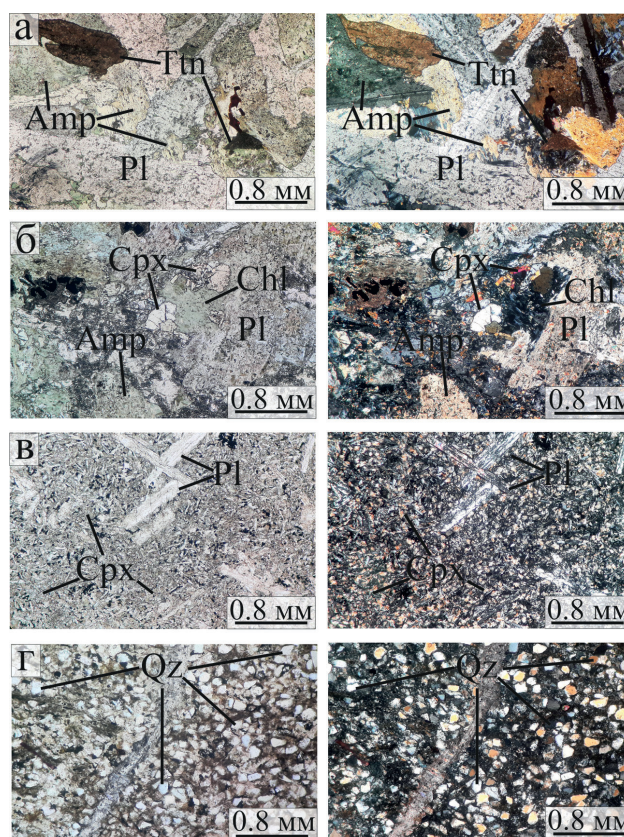
По минералогическому составу все изученные пробы мало отличаются между собой, однако текстурно-структурные особенности габбро-долеритов внутренней части тела отличаются от пород краевой части интрузии. Отличие заключается в первую очередь в размере минералов; так же в краевой части наблюдается также крупный неизменённый клинопироксен (авгит).

Характерной особенностью исследуемых пород является наличие вторичных полевых шпатов: альбита и большого объёма микроклина.

Породы внутренней части исследуемого тела обладают массивной текстурой, габбровой и офитовой структурой (рис. 3а). Породообразующие минералы — плагиоклаз и клинопироксен. Плагиоклаз альбитизирован, сосюритизирован и серицитизи-

рован, обладает размерами от 0.1 до 1 мм, субидiomорфного и ксеноморфного облика. Клинопироксен представлен авгитом, который практически полностью замещён амфиболом и хлоритом, однако в отдельных случаях наблюдаются сохранившиеся реликтовые зёрна размером 0.05–0.4 мм (см. рис. 3б), минерал обладает ксеноморфным обликом. Амфибол и хлорит, развитые по клинопироксену, обладают ксеноморфным обликом. Акцессорные минералы: апатит, рутил, халькопирит, пирит, титанит.

Породы внешней части исследуемого тела обладают массивной текстурой, долерито-



**Рис. 3. Петрографические особенности долеритов (а — в) и алевролитов суранской свиты (г). Слева параллельные николи, справа скрещённые николи**

Условные обозначения: а — габбро внутренней части интрузивного тела, б — сохранившееся зерно клинопироксена, в — долериты с внешней части интрузивного тела, г — вмещающая порода, представленная алевролитом.

Amp — амфибол; Ttn — титанит; Pl — плагиоклаз; Cpx — клинопироксен; Chl — хлорит; Qz — кварц.

**Fig. 3. Petrographic features (in the left column, with one nicol; in the right column, with two nicols)**

Legend: a — gabbro of the inner part of the intrusive body, б — preserved grain of clinopyroxene, в — dolerites from outer part of intrusion body, г — host rock represented by siltstone.

Amp — amphibole; Ttn — titanite; Pl — plagioclase; Cpx — clinopyroxene; Chl — chlorite; Qz — quartz.

вой и порфиroidной структурой (см. рис. 3в). Породообразующие минералы представлены клинопироксеном и плагиоклазом, которые часто образуют крупные выделения (фенокристаллы). Плагиоклаз представлен битовнитом, местами серицитизирован, размеры порфиroidных выделений варьируют в пределах 0.30–0.80 мм, размеры зёрен в основной массе 0.05–0.20 мм. Клинопироксен представлен авгитом, он практически не затронут вторичными изменениями, размеры фенокристаллов 0.40–0.70 мм, размеры зёрен в основной массе 0.1–0.15 мм. Акцессорные минералы представлены апатитом, рутилом, манганоильменитом, пиритом.

Вмещающие породы представлены крупнозернистым алевролитом с кремнистым цементом, хорошей сортировкой обломков, преимущественно состоящих из кварца. Степень окатанности обломков различна: от средней до хорошей (см. рис. 3 г).

**Химический состав пород**

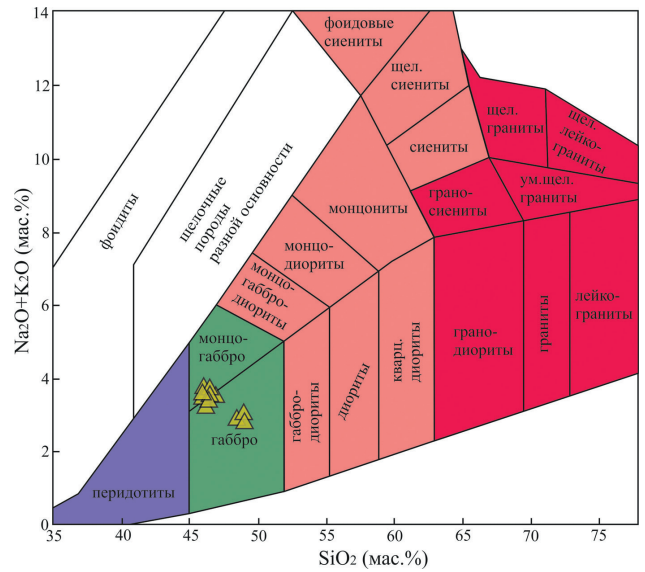
Изученные породы на TAS-диаграмме попадают в поле габбро и на границу с монцогаббро (рис. 4), что обусловлено несколько повышенным содержанием Na<sub>2</sub>O из-за присутствия альбита.

Средний состав пород: SiO<sub>2</sub> = 46.95 (мас. %); TiO<sub>2</sub> = 1.78 (мас. %); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 12.34 (мас. %); Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 11.08 (мас. %); FeO = 6.34 (мас. %); MnO = 0.24 (мас. %); CaO = 9.34 (мас. %); MgO = 6.07 (мас. %); Na<sub>2</sub>O = 2.70 (мас. %); K<sub>2</sub>O = 0.64 (мас. %); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0.28 (мас. %) (табл. 1). Габброиды относятся к толеитовой серии (рис. 5а). Коэффициент насыщения глинозёмом <1, габбро-долериты относятся к умеренно-глинозёмистым образованиям и попадают в область металуминиевых пород (см. рис. 5б).

Исследуемое тело характеризуется микроэлементной неоднородностью: Cr — внутренняя часть тела ниже кларковых содержаний в 2 раза, эндоконтакт — кларковый; Ni — внутренняя часть тела имеет содержания никеля в 2–7 раз меньше кларковых, эндоконтакт — кларковый; Cu — в отдельных образцах внутренней части тела содержания меди в 6 раз выше кларковых, эндоконтакт содержит медь чуть выше кларка [Склярков и др., 2001].

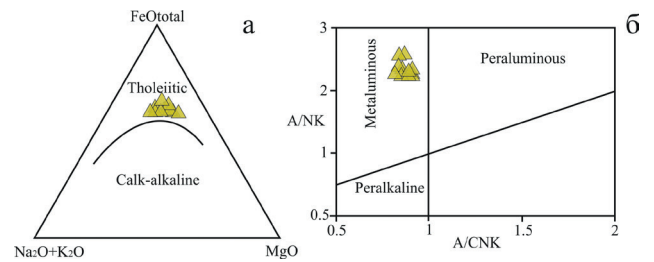
**Минералогические особенности**

Клинопироксен с общей формулой (Ca<sub>0.75–0.81</sub>Fe<sup>2+</sup><sub>0.06–0.16</sub>Mg<sub>0.04–0.14</sub>Na<sub>0–0.02</sub>)<sub>0.99–1.00</sub>(Mg<sub>0.85–0.94</sub>Cr<sub>0.01–0.04</sub>Ti<sub>0.01</sub>Mn<sub>0–0.01</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.01–0.06</sub>Al<sup>vi</sup><sub>0.01–0.05</sub>)<sub>0.94–1.00</sub>(Al<sup>iv</sup><sub>0.07–0.14</sub>Si<sub>1.86–1.93</sub>)<sub>2.00–2.05</sub>O<sub>6</sub> по химическому составу



**Рис. 4. TAS-диаграмма интрузивных пород [Петрографический кодекс, 2009]**

**Fig. 4. TAS-diagram of intrusion rocks [Petrograficheskiy kodeks, 2009]**



**Рис. 5. Диаграммы: а — диаграмма AFM [Практическая петрология, 2017], б — A/NK — A/CNK (ат. кол.) — дискриминационная диаграмма металуминиевых, пералуминиевых и щелочных составов [Shand, 1943]**

**Fig. 5. Diagrams: а — AFM diagrams [Prakticheskaya petrologiya, 2017], б — A/NK — A/CNK (at. q.) — discriminating diagram metaluminous, peraluminous and peralkaline compositions [Shand, 1943]**

соответствует авгиту и салиту (рис. 6а), образовался во внутриплитной обстановке (см. рис. 6б, 6в). Образует ксеноморфные зёрна. Размер зёрен до 0.5 мм включительно. Границы чётко выраженные, с небольшими неровностями. В периферической части тела и в эндоконтакте с вмещающими породами клинопироксен хорошо сохранился, не имеет следов вторичных изменений, во внутренней части он содержит вторичные изменения. Минерал обладает невысокими интерференционными окрасками. Характерная особенность — постоянная примесь Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 1.16 (мас. %).

**Таблица 1. Содержание петрогенных оксидов (мас. %) и микроэлементов (ppm) в габбро-долеритах Суранского месторождения**  
**Table 1. Content of petrogenic oxides (wt. %) and microelements (ppm) of gabbro-dolerites of Suran deposit**

Element	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
SiO <sub>2</sub>	48.04	46.11	46.07	47.34	46.65	46.05	46.48	48.92	46.08	46.23	48.53
TiO <sub>2</sub>	1.47	1.96	1.66	1.83	2.04	1.96	1.82	1.92	1.93	1.88	1.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.37	12.28	12.24	11.86	12.56	12.31	12.45	11.57	12.20	11.81	15.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.90	11.14	11.76	12.37	13.42	11.26	7.51	13.23	13.92	12.84	4.55
FeO	7.52	7.78	6.38	6.26	3.87	6.84	10.27	4.27	3.91	5.27	7.37
MnO	0.20	0.27	0.23	0.25	0.26	0.26	0.25	0.26	0.27	0.26	0.19
CaO	11.00	8.43	10.19	8.38	8.81	9.09	8.94	8.85	9.08	9.04	10.93
MgO	4.99	6.19	5.75	5.86	6.26	6.19	6.19	5.65	6.34	6.24	7.11
Na <sub>2</sub> O	2.47	3.01	2.55	2.91	3.17	2.83	2.87	2.65	2.79	2.61	1.91
K <sub>2</sub> O	0.46	0.60	0.60	0.65	0.53	0.84	0.77	0.48	0.70	0.95	0.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	0.32	0.27	0.30	0.32	0.32	0.33	0.31	0.30	0.32	0.12
S	0.03	0.14	0.02	0.01	0.17	0.06	0.03	0.13	0.06	0.09	0.11
ППП	1.99	2.00	2.03	1.84	1.90	1.77	1.78	1.87	1.90	2.13	1.97
Сумма	99.67	100.22	99.76	99.75	99.96	99.78	99.68	100.12	99.47	99.66	99.60
Sc	25	5	5	5	5	5	5	21	5	5	5
V	211	278	248	270	288	285	266	272	288	270	159
Cr	97	103	98	89	102	92	93	92	101	99	215
Co	62	215	632	225	296	31	322	49	293	429	100
Ni	16	28	38	54	59	48	75	43	58	69	159
Cu	414	208	585	401	119	216	190	91	176	213	135
Zn	84	96	91	95	95	95	90	91	97	94	50
Rb	8	11	8	12	9	17	14	9	14	18	18
Sr	825	134	653	236	75	76	79	68	75	69	85
Y	22	27	25	28	30	29	29	28	31	29	20
Zr	145	115	137	117	111	111	114	111	110	111	61
Nb	10	12	11	13	12	12	13	13	14	12	7
Ba	67	87	5	5	133	4	63	4	148	4	168

Эпидот с формулой  $Ca_{1.91-2.02}Al_{1.94-2.11}Fe^{3+}_{1.00-1.07}[Si_{1.93-2.03}O_7][SiO_4]O(OH)$  представлен двумя типами: 1 тип развит по пироксену и плагиоклазу в виде вторичных изменений (рис. 8а), 2 тип — прожилковый. Прожилки мощностью до 5 мм широко развиты по исследуемым породам, состав жильного эпидота и кристаллохимические формулы приведены в табл. 3.

Хлорит (см. рис. 8б) развит более всего во внутренней части интрузивного тела, замещает темноцветные минералы. Присутствует примесь MnO до 0.78 (мас. %) (табл. 4). На классификационной диаграмме состава хлорита целиком попадает в поле рипидолита (рис. 7) [Hey, 1954]. По геотермическим вычислениям, рипидолит образовался при температуре 281–321°C [Lanari et al, 2014; Jowett, 1991].

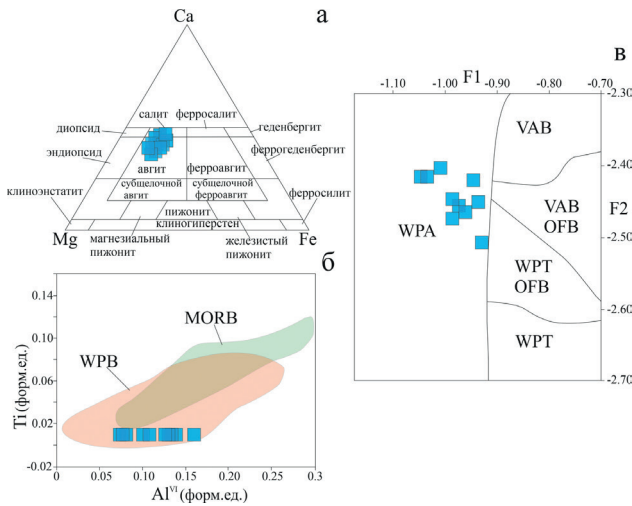


Рис. 6. Диаграммы для клинопироксена

Условные обозначения: а — состав клинопироксена [Morimoto, 1988], б — обстановка образования клинопироксена [Beccaluva et al, 1989], в — геодинамические условия образования клинопироксена [Nisbet, Pearce, 1977], где  $F1 = -0.012 \times SiO_2 - 0.0807 \times TiO_2 + 0.0026 \times Al_2O_3 - 0.0012 \times FeO - 0.0026 \times MnO + 0.0087 \times MgO - 0.0128 \times CaO - 0.0419 \times Na_2O$ ,  $F2 = -0.0469 \times SiO_2 - 0.0818 \times TiO_2 - 0.0212 \times Al_2O_3 - 0.0041 \times FeO - 0.1435 \times MnO - 0.0029 \times MgO + 0.0085 \times CaO + 0.0160 \times Na_2O$ .

Примечание: WPB — внутриплитные базальты, MORB — базальты срединноокеанических хребтов, WPA — внутриплитные щелочные базальты, WPT — внутриплитные толеитовые базальты, VAB — базальты вулканических дуг, OFB — базальты океанического дна.

Fig. 6. Diagrams for clinopyroxene

Legend: a — composition of clinopyroxene [Morimoto, 1988], б — environment of formation of clinopyroxene (Beccaluva et al, 1989), в — geodynamic conditions of formation of clinopyroxene [Nisbet, Pearce, 1977], where  $F1 = -0.012 \times SiO_2 - 0.0807 \times TiO_2 + 0.0026 \times Al_2O_3 - 0.0012 \times FeO - 0.0026 \times MnO + 0.0087 \times MgO - 0.0128 \times CaO - 0.0419 \times Na_2O$ ,  $F2 = -0.0469 \times SiO_2 - 0.0818 \times TiO_2 - 0.0212 \times Al_2O_3 - 0.0041 \times FeO - 0.1435 \times MnO - 0.0029 \times MgO + 0.0085 \times CaO + 0.0160 \times Na_2O$ .

Note: WPB — within plate basalts, MORB — midocean ridge basalts, WPA — within plate alcaic basalts, WPT — within plate toleiiitic basalts, VAB — volcanic arc basalts, OFB — ocean floor basalts.

Расчёты температуры образования хлорита проведены по формульным коэффициентам (табл. 4):

$$T(\text{Chlorite})(^{\circ}\text{C}) = \frac{172341}{-R \times \ln(K) - 315.149} - 273.15$$

где R — универсальная газовая постоянная, равная 8.31451 Дж/моль×К, ln (K) — натуральный логарифм константы равновесия, который вычисляется по формульным коэффициентам и равен 4.87–8.23 [Lanari et al., 2014; Jowett, 1991].

Апатит с общей формулой  $Ca_{4.85-4.92}Fe^{2+}_{0.05}[P_{2.86-2.88}O_{12}]F_{0.76-0.81}Cl_{0.04-0.09}$  образует игольчатые и таблитчатые агрегаты с ровными и чёткими границами (см. рис. 8в), для него характерно преобладание фторового аниона: F = 2.89–3.13 (мас. %), Cl = 0.33–0.67 (мас. %) (табл. 5).

Манганоильменит представлен двумя типами: тип 1 заключен в хлорите, с размерами до 55 мкм (см. рис. 8г), содержит примеси ванадия до 0.39 (мас. %) и кобальта до 0.37 (мас. %) (табл. 6); тип 2 локализован в интерстициях между минералами (см. рис. 8д) и не имеет примесей ванадия и кобальта (табл. 6), представлен более мелкими зёрнами ксеноморфного облика размером до 20 мкм.

Пирит представлен тремя типами: кобальтсодержащий пирит, никельсодержащий пирит, мышьяксодержащий пирит (табл. 7).

Кобальтсодержащий пирит обладает размерами от 30 мкм до 75 мкм и ксеноморфным обликом, локализован в межзерновом пространстве (рис. 9а). Содержание Co до 4.67 (мас. %) (табл. 7).

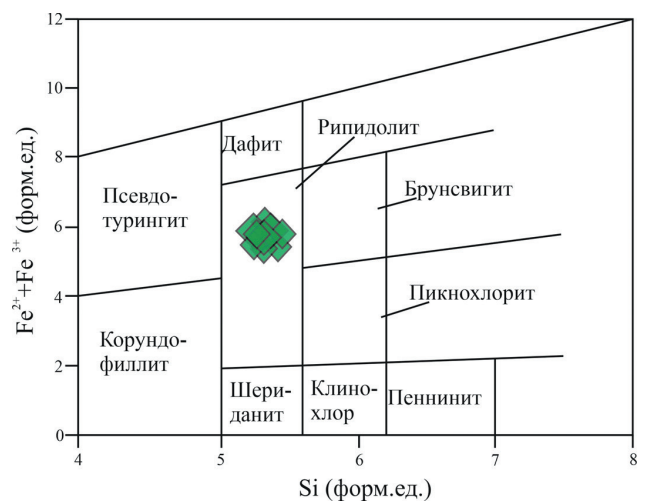


Рис. 7. Классификационная диаграммы хлорита [Hey, 1954]

Fig. 7. Classification diagram of chlorite [Hey, 1954]

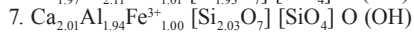
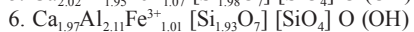
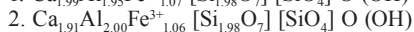
**Таблица 2. Химический состав хромсодержащего клинопироксена**  
**Table 2. Chemical composition of chrome-bearing clinopyroxene**

№п/п	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Всего
1	0.20	18.92	2.44	53.05	19.35	0.25	0.22	0.6	5.35	100.16
2	0.25	17.14	4.38	50.89	20.32	0.38	0.00	1.29	5.14	99.79
3	0.23	17.09	4.39	50.57	20.01	0.44	0.17	1.16	5.13	99.02
4	0.19	18.63	2.38	52.51	20.56	0.26	0.19	0.78	5.15	100.46
5	0.18	18.04	2.90	52.19	20.75	0.32	0.21	1.02	5.14	100.54
6	0.22	18.76	2.49	52.95	19.67	0.30	0.00	0.74	5.26	100.39
7	0.27	18.12	3.21	52.13	20.40	0.24	0.00	1.36	5.09	100.82
8	0.21	17.83	3.60	51.43	21.08	0.40	0.00	1.15	5.10	100.80
9	0.00	17.99	2.20	53.02	20.62	0.30	0.00	0.50	5.60	100.23
10	0.00	19.00	4.23	51.75	18.57	0.39	0.00	0.37	6.25	100.56

**Таблица 3. Химический состав эпидота**  
**Table 3. Chemical composition of epidote**

№п/п	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	Всего
1	20.59	37.04	23.17	15.97	96.77
2	21.12	37.15	22.18	15.78	96.23
3	21.01	37.56	23.19	15.91	97.67
4	21.63	37.08	23.21	15.19	97.11
5	20.64	37.19	23.52	15.97	97.32
6	22.65	37.1	23.23	15.12	98.1
7	20.66	38.11	23.54	15.05	97.36

Кристаллохимические формулы:



Примечание. 1–4 — развитый по пироксену и плагиоклазу, 5–7 — прожилковый.

Note. 1–4 — developed by pyroxene and plagioclase, 5–7 — veined.



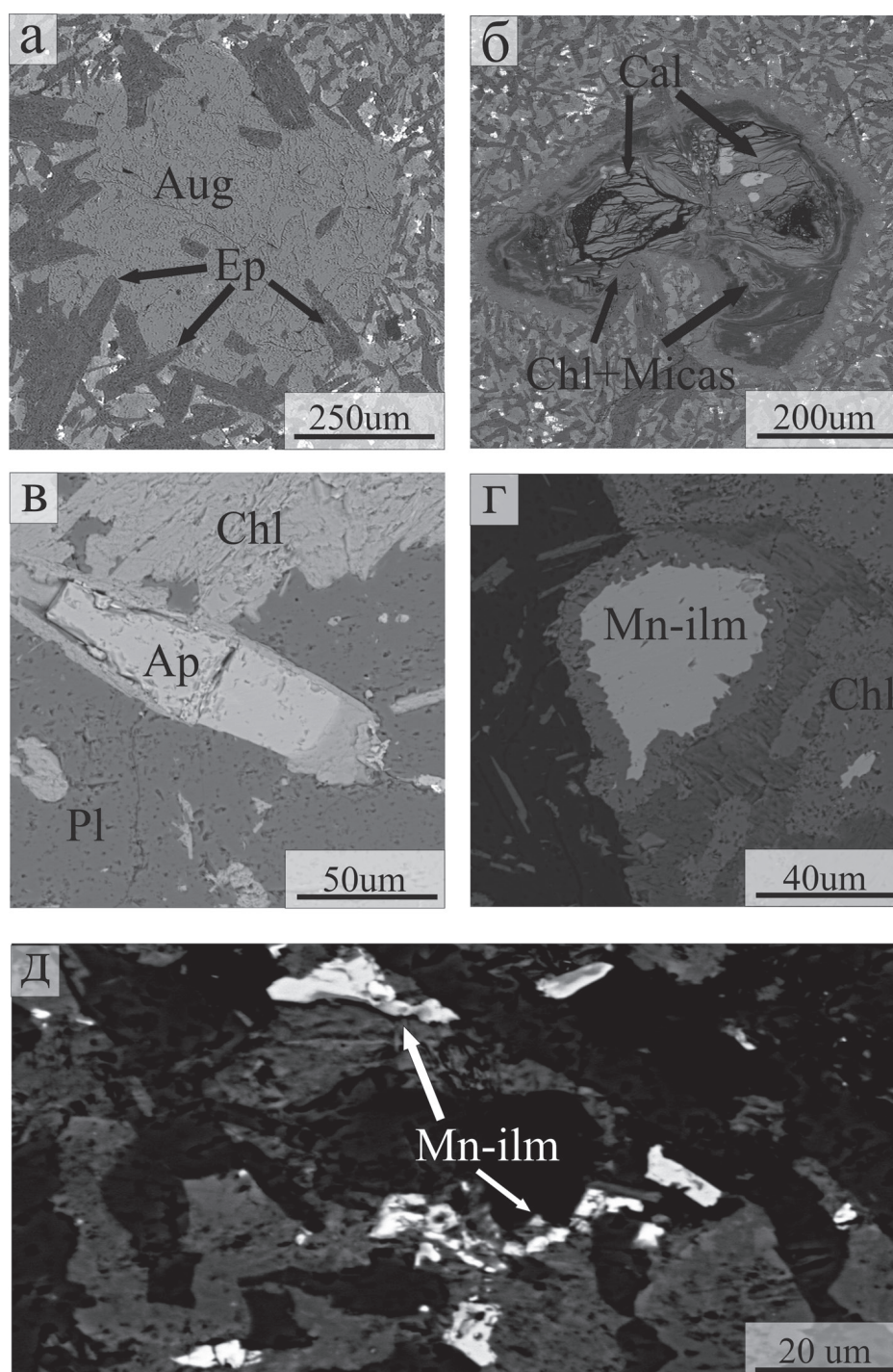
**Таблица 4. Химический состав хлорита и формульные коэффициенты**  
**Table 4. Chemical composition of chlorite and formula coefficients**

№ п/п	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	Всего	
1	10.48	20.15	25.43	0.67	33.31	90.04	
2	9.92	19.16	24.06	0.72	32.53	86.39	
3	10.66	20.51	24.89	0.56	33.12	89.74	
4	10.45	20.12	25.11	0.78	32.65	89.11	
5	10.51	20.16	24.95	0.59	33.25	89.46	
6	10.43	20.33	25.21	0.54	32.41	88.92	
7	10.39	20.41	24.95	0.56	33.05	89.36	
8	10.49	20.29	25.16	0.71	33.15	89.80	
9	10.22	20.11	25.25	0.61	33.12	89.31	
Формульные коэффициенты, O = 28/Formula coefficients, O = 28							
№ п/п	Mg	Al	Si	Mn	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Всего
1	3.34	5.08	5.43	0.12	5.84	0.11	19.92
2	3.30	5.06	5.37	0.13	6.03	0.10	19.99
3	3.40	5.18	5.32	0.10	5.82	0.10	19.92
4	3.33	5.10	5.38	0.14	5.67	0.17	19.79
5	3.37	5.12	5.37	0.10	5.88	0.11	19.95
6	3.34	5.16	5.42	0.09	5.77	0.05	19.83
7	3.32	5.17	5.35	0.10	5.87	0.07	19.88
8	3.33	5.11	5.36	0.12	5.83	0.08	19.83
9	3.25	5.08	5.38	0.11	5.84	0.07	19.73

Примечание. Количество Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> рассчитано по балансу зарядов.  
 Note. Quantity of Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> was counted by balance of charges.

**Таблица 5. Химический состав апатита**  
**Table 5. Chemical composition of apatite**

№ п/п	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe	F	Cl	Всего
1	41.46	55.04	0.89	2.92	0.61	100.92
2	41.03	55.15	0.81	3.1	0.33	100.42
3	40.96	55.24	0.8	3.13	0.4	100.53
4	40.92	55.08	0.66	3.09	0.67	100.42
5	41.12	55.53	0.66	2.89	0.57	100.77



**Рис. 8. BSE-изображение минералов**

Условные обозначения: а — авгит и эпидот, б — псевдоморфозы вторичных минералов по пироксену, в — апатит, г — манганоильменит 1 типа, д — манганоильменит 2 типа.

Aug — авгит, Ep — эпидот, Cal — кальцит, Chl — хлорит, Ap — апатит, Pl — плагиоклаз, Mn-ilm — манганоильменит.

Fig. 8. BSE image of minerals

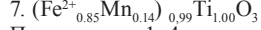
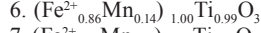
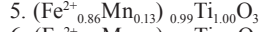
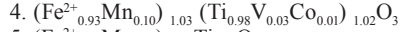
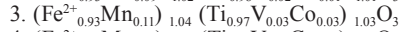
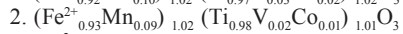
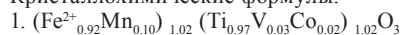
Legend: a — augite and epidote, б — pseudomorphs of secondary minerals after pyroxene, в — apatite, г — type-1 manganilmenite, д — type-2 manganilmenite.

Aug — augite, Ep — epidote, Cal — calcite, Chl — chlorite, Ap — apatite, Pl — plagioclase, Mn-ilm — manganilmenite.

**Таблица 6. Химический состав манганоильменита**  
**Table 6. Chemical composition of manganilmenite**

№ п/п	Ti	Mn	Fe	V	Co	Всего
1	51.28	4.87	43.65	0.34	0.28	100.42
2	50.85	4.82	43.69	0.27	0.16	99.79
3	50.98	5.05	43.83	0.38	0.37	100.61
4	51.22	4.93	43.65	0.39	0.11	100.30
5	52.98	6.19	40.72	0.00	0.00	99.98
6	53.15	6.49	40.95	0.00	0.00	100.59
7	53.44	6.25	40.15	0.00	0.00	99.84

Кристаллохимические формулы:



Примечание. 1–4 — тип номер 1, 5–7 — тип номер 2.

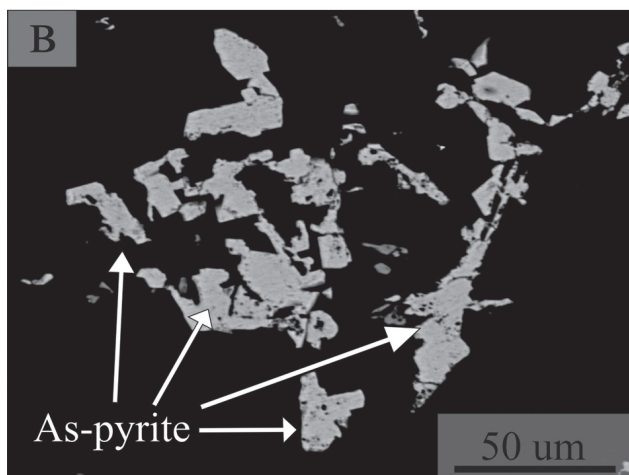
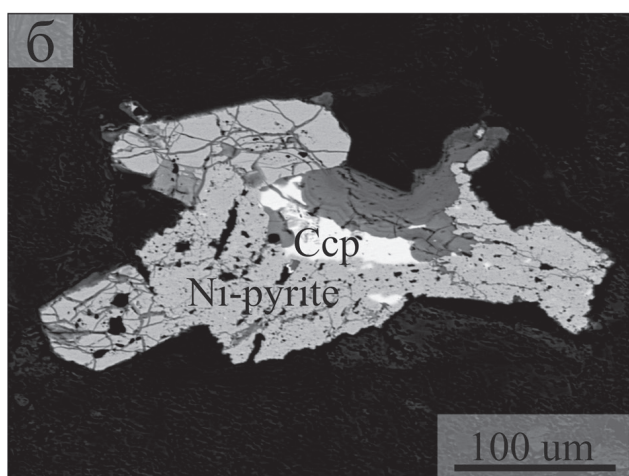
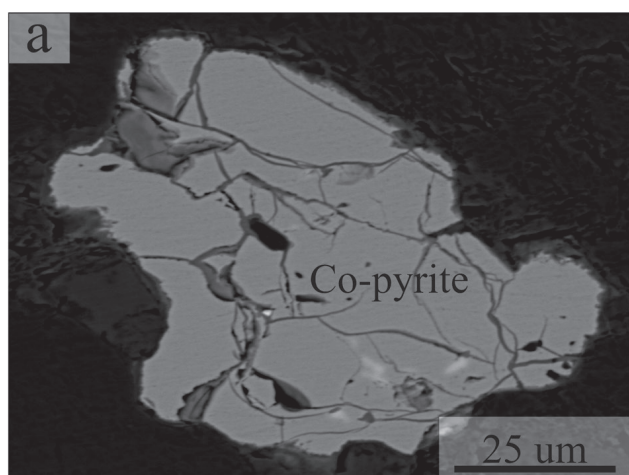
Note. 1–4 — type 1, 5–7 — type 2.

**Таблица 7. Химический состав пирита**  
**Table 7. Chemical composition of pyrite**

№п/п	S	Fe	Cu	Co	Ni	As	Всего
1	53.74	43.38	0.00	3.36	0.00	0.00	100.48
2	53.65	41.94	0.00	4.67	0.00	0.00	100.26
3	53.45	45.49	0.00	1.33	0.00	0.00	100.27
4	53.02	44.6	0.00	0.00	1.91	0.00	99.53
5	54.06	43.22	0.00	0.00	3.31	0.00	100.59
6	54.38	42.79	0.00	0.00	4.07	0.00	101.24
7	53.32	45.89	0.00	0.00	0.55	0.00	99.76
8	53.87	43.64	1.08	0.00	2.22	0.00	100.81
9	53.65	45.35	0.27	0.00	1.15	0.00	100.42
10	54.14	45.91	0.00	0.00	0.00	0.54	100.59
11	54.17	46.16	0.00	0.00	0.00	0.39	100.72
12	54.27	46.86	0.00	0.00	0.00	0.41	101.54
13	53.38	45.78	0.00	0.00	0.00	0.39	99.55
14	53.39	45.5	0.00	0.00	0.00	0.31	99.2
15	53.87	45.21	0.00	0.00	0.00	0.37	99.45

Примечание: 1–3 — кобальтсодержащий пирит; 4–9 — никельсодержащий пирит; 10–15 — мышьяксодержащий пирит.

Note: 1–3 cobalt-bearing pyrite; 4–9 nickel-bearing pyrite; 10–15 — arsenicum-bearing pyrite.



**Рис. 9. BSE-изображения пирита**

Условные обозначения: а — кобальтсодержащий пирит, б — никельсодержащий пирит в сростании с халькопиритом, в — мышьяксодержащий пирит.

**Fig. 9. BSE images of pyrite**

Legend: a — cobalt-bearing pyrite, б — nickel-bearing pyrite intergrown with chalcopyrite, в — arsenic-bearing pyrite.

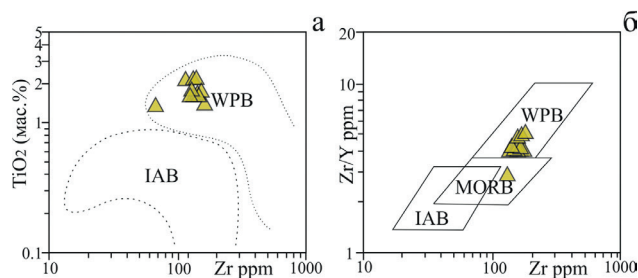
Никельсодержащий пирит образует сростания с халькопиритом (рис. 9б). Слагает зёрна неправильного облика с размером до 320 мкм. Содержание Ni до 4.07 (мас. %) (табл. 7).

Мышьяксодержащий пирит образует скопления ксеноморфных индивидов с размерами от 5 мкм до 50 мкм (см. рис. 9в). Содержит As до 0.54 (мас. %) (табл. 7).

### Выводы

Для габбро Суранского месторождения, согласно данным [Вендские..., 2020], получен возраст 570±6 млн лет. Данный временной отрезок связывают с проявлениями вендской плюмовой активности [Пучков и др., 2014; Ernst et al., 2006]. Следует добавить, что наличие аршинских щелочных вулканитов в ассоциации с терригенными грубообломочными породами свидетельствует о заложении грабенообразных структур и континентального рифтогенеза [Ковалев, 2011]. Наличие большого числа разрозненных даек субщелочного состава в пределах Башкирского мегантиклинория указывает на значительную площадь проявления магматизма [Алексеев, 1984]. Источник расплава по-видимому является мантийным, а щелочной уклон свидетельствует о достаточно глубинном уровне частичного плавления.

На диаграммах [Pearce, 1982; Pearce, Norry, 1979], применяемых для реконструкции геодинамических обстановок образования базитов, фигуративные точки попадают в область внутриплитного магматизма (рис. 10). Клинопироксен в исследуемых породах является первичным маг-



**Рис. 10. Геодинамическая характеристика**

Условные обозначения: а —  $TiO_2$  (мас. %)/Zr (ppm) [Pearce, 1982], б —  $Zr$  (ppm)/(Zr/Y) (ppm) [Pearce, Norry, 1979]. WPB — базальты (габбро) внутриплитных обстановок, IAB — базальты (габбро) островных дуг, MORB — базальты (габбро) срединно-океанических хребтов

**Fig. 10. Geodynamic diagrams**

Legend: а —  $TiO_2$  (wt. %)/Zr (ppm) [Pearce, 1982], б —  $Zr/(Zr/Y)$  [Pearce, Norry, 1979]. WPB — within-plate basalts, IAB — island-arc basalts, MORB — midocean ridge basalts.

магматическим минералом, на диаграммах [Beccaluva et al, 1989; Nisbet, Pearce, 1977] попадает в область внутривулканического магматизма (см. рис. 6). Высокое содержание титана в совокупности с субщелочным составом так же указывает на континентальные рифтогенные условия образования.

### Список литературы

Алексеев А. А. Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. М.: Наука, 1984. 136 с.

Алексеев А. А., Алексеева Г. В. Рифейско-палеозойские магматические формации, метаморфизм и эндогенное оруденение западного склона Южного Урала // Условия формирования и метаморфизм магматогенных комплексов Южного Урала: Научный отчет. Уфа: ИГ БФ АН СССР, 1981. Том 1. 115 с.

Вендские и позднепалеозойские связанные с плюмовой активностью габброидные интрузии в структуре башкирского мегантиклинория: новые данные о структурном положении и возрасте (U-Pb SIMS, 39Ag/40Ag)/А. И. Куртукова, А. В. Рязанцев, Б. Г. Голионко, А. В. Травин // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2022: Материалы ЛШ Тектонического совещания, Москва, 01–05 февраля 2022 года. Том 1. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство ГЕОС», 2022. С. 254–258.

Ковалев, С. Г. Новые данные по геохимии диабаз-пикритового магматизма западного склона Южного Урала и условия его формирования // Литосфера. 2011. №2. С. 68–83.

Ковалев С. Г. Позднедокембрийский рифтогенез в истории развития западного склона Южного Урала // Геотектоника. 2008. №2. С. 68–79.

Ларионов Н. Н., Бергазов И. Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXII — Тузан. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 56 с.

Ларионов Н. Н., Настасиенко Е. В., Смолянский П. Л., Сомов М. М. О новом типе селлаит-флюоритовой минерализации // Минералогический журнал, 1987. Т. 9, №2. С. 22–25.

Ларионов Н. Н., Рудниченко В. П., Быкова Л. С., Ротару З. М. Отчет о геологическом доизучении в масштабе 1:50000 по объекту «Авзянская площадь» 1979–85 гг. Уфа, ТГФонд РБ, 1985.

Магадеев Б. Д., Грешилов А. И., Радченко В. В. Рудные и нерудные месторождения Республики Башкортостан // Отечественная геология. 1997. №7. С. 5–10.

Никонов В. Н., Андриушков Н. Н., Хузин Р. М. Отчет о разведке на Суранском месторождении флюорита. 2015.

Носова А. А., Сазонова Л. В., Каргин А. В., Ларионова Ю. О., Горожанин В. М., Ковалев С. Г. Мезопротерозойская внутривулканическая магматическая провинция западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение // Петрология. 2012. Т. 20. №4. С. 392.

Петрографический кодекс России: Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования/Под ред. О. А. Богатикова, О. В. Петрова, А. Ф. Морозова; отв. ред. Л. В. Шарпенко. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.

Практическая петрология: методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам госгеолкарт. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2017. 16 с.

Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

Пучков В. Н., Сергеева Н. Д., Ратов А. А. Отложения нижнего венда на Южном Урале: особенности состава и строения // Геологический сборник № 11. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2014. С. 22–36.

Сазонова Л. В., Носова А. А., Ларионова Ю. О., Каргин А. В., Ковалев С. Г. Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Башкирского мегантиклинория: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена // Литосфера. 2011. №3. С. 64–83.

Склярков Е. В., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Иванов А. В., Летникова Е. Ф., Миронов А. Г., Бараш И. Г., Буланов В. А., Сизых А. И. Интерпретация геохимических данных/Науч. ред. Е. В. Склярков. М.: Интернет инжиниринг, 2001. 287 с.

Юшкин Н. П., Маркова Г. А. Прогноз качества оптического флюорита. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1988. 20 с.

Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G. B., Zeda O. Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator // Chemical Geology. 1989. V. 77. P. 165–182.

Ernst R. E., Pease V., Puchkov V. N., Kozlov V. I., Sergeeva N. D., Hamilton M. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Геологический сб. №5. Информационные мат-лы. Уфа: ИГ УрО РАН, 2006. С. 1–45. <http://ig.ufaras.ru/File/E2006/0215-06.pdf>

Hey M. H. A new review of the chlorites // Min. Mag. 1954. V. 30. P. 277–292.

Jowett E. C. Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting (Toronto, May 27–29, 1991). Program with Abstracts, 1991. № 16. P. A62. DOI: 10.2139/ssrn.3863523

Lanari P., Wagner T., Vidal O. A thermodynamic model for ditrioctahedral chlorite from experimental and natural data in the system MgO — FeO — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — SiO<sub>2</sub> — H<sub>2</sub>O: applications to P-T sections and geothermometry // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2014. V. 167. P. 268–287. DOI: 10.1007/s00410-014-0968-8

Morimoto N. Nomenclature of Pyroxenes // Mineralogy and Petrology. 1988. Vol. 39. P. 55–76.

Nisbet E. G., & Pearce J. A. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1977. 63 (2). P. 149–160.

Pearce J. A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R. S. (ed.) *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley & Sons, Chichester, 1982. P. 525–548.

Pearce J. A. and Norry M. J. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Intrusive Rocks // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1979. № 69. P. 33–47.

Shand S. J. *The eruptive rocks*: 2nd edition, John Wiley, New York, 1943. 444 p.

## References

Alekseev A. A. (1984) Rifeysko-vendskiy magmatizm zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Riphean-Vendian magmatism of the western slope of the Southern Urals]. Moscow: Nauka, 136 p. (In Russian).

Alekseev A. A., Alekseeva G. V. (1981) Rifeyskopaleozojskie magmaticheskie formatsii, metamorphism i endogennoe orudnenie zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Riphean-Paleozoic igneous formations, metamorphism and endogenous mineralization of the western slope of the Southern Urals]. Scientific report "Formation conditions and metamorphism of igneous complexes of the Southern Urals". V. 1. Ufa: IG BG AS USSR, 115 p. (In Russian).

Vendskie i pozdnepaleozojskie svyazannye s plyumovoj aktivnost'yu gabbroidnye intruzii v strukture bashkirskogo megantiklinoriya: novye dannye o strukturnom polozhenii i vozraste (U-Pb SIMS,  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ) [Vendian and Late Paleozoic plume-related gabbroic intrusions in the structure of the Bashkirian meganticlinorium: new data on structural position and age (U-Pb SIMS,  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ )]/A. I. Kurtukova, A. V. Ryazancev, B. G. Golionko, A. V. Travin // *Tektonika i geodinamika Zemnoj kory i mantii: fundamental'nye problemy-2022: Materialy LIII Tektonicheskogo soveshchaniya*, Moskva, 01–05 fevralya 2022 g. Tom 1. Moskva: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu "Izdatel'stvo GEOS", 2022. P. 254–258. (In Russian).

Kovalev S. G. (2011) Novye dannye po geohimii diabaz-pikritovogo magmatizma zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala i usloviya ego formirovaniya [New data on the geochemistry of diabase-picrite magmatism on the western slope of the Southern Urals and the conditions of its formation]. *Litosfera*, 2, 68–83. (In Russian).

Kovalev S. G. (2008) Pozdnedokembrijskij riftogenez v istorii razvitiya zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Late Precambrian rifting in the history of the development of the western slope of the Southern Urals]. *Geotektonika*, 2, 68–79. (In Russian).

Larionov N. N., Bergazov I. R. (2015) State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200000. Second edition. Series South Ural. Sheet N-40-XXII [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. Second edition.]. Toucan. Explanatory note. Moscow: MF VSEGEI, 56 p. (In Russian).

Larionov N. N., Nastasienko E. V., Smolyansky P. L., Somov M. M. (1987) O novom tipe sellait-flyuoritovoj miner-

alizacii [About a new type of sellaite-fluorite mineralization]. *Mineralogicheskij zhurnal*, t. 9, № 2. 22–25. (In Russian).

Larionov N. N., Rudnichenko V. P., Bykova L. S., Rotaru Z. M. (1985) Otchyot o geologicheskome doizuchenii v masshtabe 1:50000 po ob'ektu «Avzyanskaya ploshchad'» 1979–85 gg. [Report on geological additional study on a scale of 1:50000 for the Avzyanskaya area, 1979–85] Ufa, TGF RB. (In Russian).

Magadeev B. D., Greshilov A. I., Radchenko V. V. (1997) Rudnye i nerudnye mestorozhdeniya Respubliki Bashkortostan [Ore and non-metallic deposits of the Republic of Bashkortostan]. *Otechestvennaya geologiya*, 7, 5–10. (In Russian).

Nikonov V. N., Andryushkov N. N., Huzin R. M. Otchyot o razvedke na Suranskom mestorozhdenii flyuorite [Exploration report on the Suran fluorite deposit]. 2015. (In Russian).

Nosova A. A., Sazonova L. V., Kargin A. V., Larionova Y. O., Gorozhanin V. M., Kovalev S. G. (2012) Mezoproterozojskaya vnutriplnaya magmaticheskaya provinciya zapadnogo Urala: osnovnye petrogeneticheskie tipy porod i ih proiskhozhdenie [Mesoproterozoic intraplate igneous province of the Western Urals: main petrogenetic types of rocks and their origin]. *Petrologiya*, 20 (4), 392. (In Russian).

Petrograficheskij kodeks Rossii: Magmaticheskiye, metamorficheskiye, metasomaticheskiye, impaktnyye obrazovaniya (Petrographic Code of Russia: Igneous, Metamorphic, Metasomatic, Impact Formations) [Petrographic Code of Russia: Igneous, metamorphic, metasomatic, impact formations]. Eds. O. A. Bogatikova, O. V. Petrova, A. F. Morozov; resp. ed. L. V. Sharpenok, 3rd ed., Rev. and additional. St. Petersburg: VSEGEI, 2009, 200 p. (In Russian).

Prakticheskaya petrologiya: metodicheskiye rekomendatsii po izucheniyu magmaticheskikh obrazovaniy primenitel'no k zadacham gosgeol'kart [Practical petrology: methodological recommendations for the study of igneous formations in relation to the tasks of state geological maps]. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House, 2017, 168 p. (In Russian).

Puchkov V. N. (2010) Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and the Cis-Urals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DizajnPoligrafServis, 280 p. (In Russian).

Puchkov V. N., Sergeeva N. D., Ratov A. A. (2014) Otlozheniya nizhnego venda na Yuzhnom Urale: osobennosti sostava i stroeniya [Lower Vendian deposits in the Southern Urals: features of composition and structure]. *Geologicheskij sbornik* № 11. Ufa: IG UNC RAN, 22–36. (In Russian).

Sazonova L. V., Nosova A. A., Larionova YU. O., Kargin A. V., Kovalev S. G. (2011) Mezoproterozojskie pikrity vostochnoj okrainy Vostochno-Evropejskoj platformy i Bashkirskogo megantiklinoriya: petrogenesis i osobennosti sostavov olivina i klinopiroksena [Mesoproterozoic picrites of the eastern margin of the East European Platform and the Bashkir meganticlinorium: petrogenesis and compositional features of olivine and clinopyroxene]. *Litosfera*, 3, 64–83. (In Russian).

Sklyarov E. V., Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Ivanov A. V., Letnikova E. F., Mironov A. G., Barash I. G., Bulanov V. A., Sizyh A. I. (2001) Interpretaciya geohimich-

eskih danyh [Interpretation of geochemical data]. Nauch. red. E. V. Sklyarov. M.: Intermet inzhiniring, 287 p. (In Russian).

Yushkin N. P., Markova G. A. (1988) Prognoz kachestva opticheskogo flyuorita [Optical fluorite quality forecast]. Syktyvkar: Komi NC UrO AN SSSR, 20 p. (In Russian).

Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G. B., Zeda O. (1989) Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator. *Chemical Geology*, 77, 165–182.

Ernst R. E., Pease V., Puchkov V. N., Kozlov V. I., Sergeeva N. D., Hamilton M. (2006) Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia. *Геологический сб. №5. Информационные мат.-лы. Уфа: ИГ УрО РАН*, 1–45. <http://ig.ufaras.ru/File/E2006/0215-06.pdf>

Hey M. H. (1954) A new review of the chlorites. *Min. Mag*, 30, 277–292.

Jowett E. C. (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting (Toronto, May 27–29, 1991), Program with Abstracts, 16, p. A62. DOI: 10.2139/ssrn.3863523

Lanari P., Wagner T., Vidal O. (2014) A thermodynamic model for ditrioctahedral chlorite from experimental and natural data in the system MgO — FeO — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — SiO<sub>2</sub> — H<sub>2</sub>O: applications to P-T sections and geothermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 167, 268–287. DOI: 10.1007/s00410-014-0968-8

Morimoto N. (1988) Nomenclature of Pyroxenes // *Mineralogy and Petrology*, 39, 55–76.

Nisbet E. G., & Pearce J. A. (1977) Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 63 (2), 149–160.

Pearce (1982) Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R. S. (ed.) *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley & Sons, Chichester, 525–548.

Pearce J. A. and Norry M. J. (1979) Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Intrusive Rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 33–47.

Shand S. J. (1943) *The eruptive rocks: 2nd edition*, John Wiley, New York, 444 p.

#### *Сведения об авторах:*

**Самигуллин Айдар Альфридович**, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. [Samigullinaidar85@gmail.com](mailto:Samigullinaidar85@gmail.com)

**Савельев Дмитрий Евгеньевич**, д. г.-м. н. Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. [Savl71@mail.ru](mailto:Savl71@mail.ru)

**Васильев Андрей Максимович**, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. [Andvas02@gmail.com](mailto:Andvas02@gmail.com)

**Никонов Владимир Николаевич**, Уфимский университет науки и технологий (УУНиТ). [Nikon-ufa@mail.ru](mailto:Nikon-ufa@mail.ru)

#### *About the authors:*

**Samigullin Aidar Alfridovich**, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. [Samigullinaidar85@gmail.com](mailto:Samigullinaidar85@gmail.com)

**Saveliev Dmitry Evgenievich**, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. [Savl71@mail.ru](mailto:Savl71@mail.ru)

**Vasiliev Andrey Maksimovich**, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. [Andvas02@gmail.com](mailto:Andvas02@gmail.com)

**Nikonov Vladimir Nikolaevich**, Ufa university of science and technologies. [Nikon-ufa@mail.ru](mailto:Nikon-ufa@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 20.12.2023; одобрена после рецензирования 11.01.2024; принята к публикации 25.03.2024.

The article was submitted 20.12.2023; approved after reviewing 11.01.2024; accepted for publication 25.03.2024.