

**ГАББРОИДЫ ДОЮРСКОГО ОСНОВАНИЯ АРКТИКИ
И ИХ СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ
(СЮНАЙ-САЛИНСКАЯ ПЛОЩАДЬ, ПОЛУОСТРОВ ЯМАЛ)**

Ю.В. Ерохин¹, К.С. Иванов¹, В.С. Бочкарев^{1,2}, В.С. Пономарев¹, А.В. Захаров¹

¹*Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН,
ул. Академика Вонсовского, д. 15, Екатеринбург, 620016 Россия;
erokhin-yu@yandex.ru*

²*ОАО «Сибирский научно-аналитический центр», ул. Пермякова, д. 46, Тюмень, 625016 Россия*

**GABBROIDS OF PRE-JURASSIC BASEMENT OF ARCTIC
AND THEIR SULFIDE MINERALIZATION (SYUNAY-SALIN AREA,
YAMAL PENINSULA)**

Yu.V. Erokhin¹, K.S. Ivanov¹, V.S. Bochkaev^{1,2}, V.S. Ponomarev¹, A.V. Zakharov¹

¹*Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS,
ul. Akademika Vonsovskogo, 15, Yekaterinburg, 620016 Russia;
erokhin-yu@yandex.ru*

²*ОАО «Siberian Scientific Analytical Center», ul. Permyakova, 46, Tyumen, 625016 Russia*

Изучен вещественный состав габброидов из доюрского фундамента Сюнай-Салинской площади, расположенной в Арктической части Западно-Сибирского мегабассейна на полуострове Ямал. В скважине № 45 пробурен расслоенный габбро-диоритовый массив, хотя ранее он считался монотонным диоритовым. Габброиды испытали преобразования в условиях низов зеленосланцевого метаморфизма и подверглись вторичным изменениям в виде наложенной пропилитизации. В результате этого низкотемпературного метасоматического процесса образовалась сульфидная минерализация, представленная пиритом, халькопиритом, пирротинном, пентландитом, кубанитом, саманиитом и галенитом. Сульфидная вкрапленность в сюнай-салинских габброидах по данным минералов-индикаторов сформировалась при температуре около 200 °С.

Илл. 4. Табл. 3. Библи. 22.

Ключевые слова: Арктика, Южный Ямал, Сюнай-Салинская площадь, доюрский фундамент, габбро, сульфиды

The chemical and mineral composition of gabbroids of the pre-Jurassic basement of the Syunay-Salin area located in the Arctic part of the West Siberian megabasin on Yamal Peninsula is studied. Borehole 45 has drilled a layered gabbrodiorite intrusion, which was previously considered monotonic diorite one. The gabbroids are metamorphosed under conditions of the lower degree of the greenschist facies of metamorphism and also underwent propylitization, which is resulted in the formation of sulfides including pyrite, chalcopyrite, also pyrrhotite, pentlandite, cubanite, samaniite and galena. According to mineral geothermometers, sulfide dissemination in Syunay-Salin gabbroids formed at temperature of ~200 °C.

Figures 4. Tables 3. References 22.

Key words: Arctic, South Yamal, Syunay-Salin area, pre-Jurassic basement, gabbro, sulfides

Введение

Исследования геологии Арктики приобрели в последнее время особую важность, в том числе, в связи с потенциальной нефтегазоносностью этой огромной и пока еще недостаточно изученной территории, а также вероятно предстоящим ее разделом между странами. Важнейшим критерием при этом являются результаты исследования фундамента осадочных бассейнов Арктики. Полуостров Ямал – главная часть газовой провинции нашей страны, и одно из немногих мест, где фундамент, пусть и с большим трудом, но доступен для изучения. Важно и то, что притоки газоконденсата на месторождениях Ямала (Новопортовском и др.) получены, в том числе, и из комплексов палеозойского складчатого фундамента. В целом, фундаменты нефтегазоносных провинций остаются пока одними из немногих перспективных, но недостаточно изученных объектов (Арешев и др., 1997; Бочкарев и др., 2018; Иванов и др., 2007; Федоров и др., 2004 и др.) как с геологической, так и минералогической точки зрения. Изучение вещественного состава доюрского фундамента представляется важной задачей, т.к. дистанционные методы геофизики не позволяют надежно определить горную породу и степень ее преобразования. При этом выявление зон метасоматитов (пропилитов, березитов и др.) позволяет оконтурить участки повышенной проницаемости пород в фундаменте.

На Ямале пробурено около 100 скважин, вскрывших породы доюрского основания (Бочкарев и др., 2010). Интрузивные комплексы выявлены только на четырех площадях: Бованенковской, Новопортовской, Верхнереченской и Сюнай-Салинской (рис. 1). Ранее нами детально изучался вещественный состав гранитоидов Верхнереченской площади (Вотяков и др., 2011; Вотяков и др., 2013; Иванов и др., 2012) и их сланцевого обрамления (Ерохин и др., 2014), а также минералогия габброидов Новопортовской площади (Ерохин, Иванов, 2015, 2016). В настоящей работе мы приводим результаты изучения породы из Сюнай-Салинской площади.

Краткая геологическая характеристика объекта

Параметрическая скважина № 45 на Сюнай-Салинской площади пробурена для изучения геологического строения разреза и перспектив нефтегазоносности нижне-среднеюрских и палеозойских от-

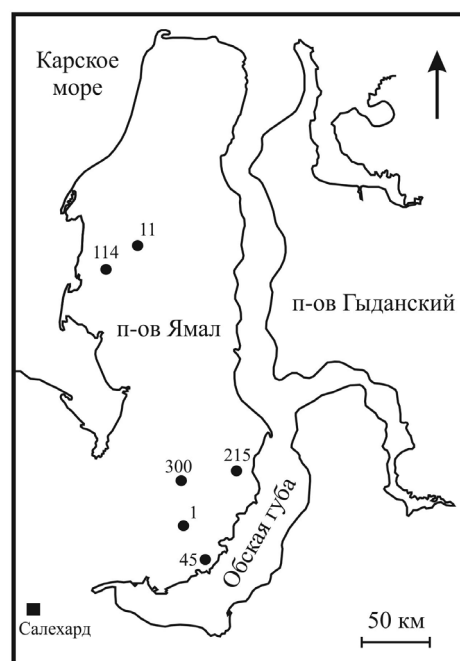


Рис. 1. Схема расположения скважин, вскрывших палеозойские отложения, на полуострове Ямал.

Скважины: 300 – Западно-Яротинская, 1 – Верхнереченская, 11 – Восточно-Бованенковская, 45 – Сюнай-Салинская, 114 – Бованенковская, 215 – Новопортовская.

Fig. 1. Location of boreholes drilled the Paleozoic rocks of the Yamal Peninsula.

Boreholes: 300 – West Yarotinskaya, 1 – Verkhnerenchenskaya, 11 – East Bovanenkov, 45 – Syunay-Salin, 114 – Bovanenkov, 215 – Novoportovskaya.

ложений, а также получения необходимых геолого-геофизических параметров разреза в пределах Щучинского выступа. Фактическая глубина скважины около 2500 м. Сюнай-Салинская скважина пройдена на левобережье Обской губы, в пределах Верхнереченской зоны разломов разделяющих Щучинский блок и полуостров Ямал (Харин, Шелехов, 2005).

Письменное и схематическое описание разреза Сюнай-Салинской скважины № 45 приведено в работе (Угрюмов, 2014), где показано, что подошва осадочного чехла зафиксирована на глубине 2110 м и осадки представляют собой глины китербютской свиты нижней юры. Кровля фундамента в пределах 2108–2100 м сложена монолитной зоной брекчиевидных сильноизмененных диоритов с цементом из жильных минералов (карбонат, кварц, хлорит и др.). По всей видимости, была разбурена зона развития пропилитизации, которая часто отмечается в Западно-Сибирском мегабассейне на контакте осадочного чехла и пород фундамента. Ниже 2100 м вплоть до забоя (2500 м) уверенно прослеживаются массивные диориты. Определение породы в раз-

Таблица 1

Химический состав пород в разрезе Сюнай-Салинской скважины № 45 (мас. %)

Table 1

Chemical composition of rocks of the Syunay-Salin borehole no. 45 (wt. %)

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.	Сумма
1	58.47	0.70	14.73	1.73	6.83	0.39	3.18	7.12	3.26	0.72	2.03	99.99
2	47.12	0.87	17.40	4.88	7.86	0.13	5.71	11.04	1.76	0.89	2.35	100.01

Примечание. Ан. 1 – по (Угрюмов, 2014), образец отобран на глубине 2235 м; ан. 2 – наши данные, образец отобран на глубине 2472.3 м (интервал отбора 2463.8–2476.0 м).

Note. An. 1 – after (Ugryumov, 2014), sample was taken at a depth of 2235 m; an. 2 – our data, sample was taken at a depth of 2472.3 m (sampling interval of 2463.8–2476.0 m).

резе скважины проводилось по петрографическим описаниям и данным химического состава (была проанализирована всего одна проба из наименее измененного диорита, табл. 1, ан. 1). Соседние скважины № 41 и 42 в доюрском фундаменте Сюнай-Салинской площади вскрыли кислые эффузивы на более высоких отметках; кровля фундамента по скважине № 42 установлена на глубине 1948 м.

Методы исследования

Все аналитические работы проведены в Институте геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург. Химический состав габброидов определен на рентгенофлуоресцентном волновом спектрометре XRF 1800 фирмы Shimadzu, который оснащен мощной (4 кВт) рентгеновской трубкой (Rh-анод), кристаллами-анализаторами TAP, PET, Ge, LiF (200), а также стабилизатором вакуума, проточно-пропорциональным и сцинтилляционным счетчиками (аналитик Н.П. Горбунова). Потери при прокаливании и окисное железо определялись методом мокрой химии (аналитик Г.С. Неупокоева).

Химический состав сульфидов проанализирован в полированных шлифах на электронно-зондо-

вом микроанализаторе CAMECA SX 100 с пятью волновыми спектрометрами (аналитик Д.А. Замятин). Для калибровки анализов использовались сертифицированные стандарты эталонных сульфидных минералов – пирит, халькопирит, кобальтин, сфалерит, миллерит и галенит. Состав некоторых минералов проанализирован с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV фирмы Jeol с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 фирмы Oxford Instruments (аналитик Л.В. Леонова). На этом же приборе получены фотографии сульфидов в режиме обратно-рассеянных электронов.

Результаты исследований

Исследованный образец керна из разреза Сюнай-Салинской скважины № 45 отобран на глубине 2472.3 м, немного выше забоя. Порода характеризуется темной окраской с белыми пятнами, мелкозернистой структурой и по данным химического состава относится к габброидам нормальной щелочности (табл. 1, ан. 2; рис. 2). Минеральный состав породы следующий: плагиоклаз (битовнит, лабрадор в центре индивидов, андезин в краевой

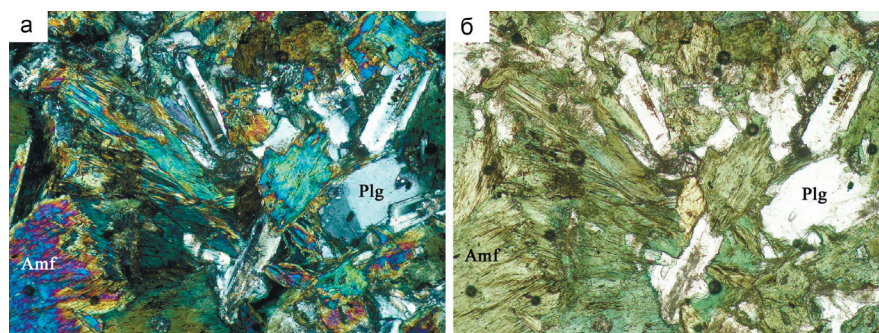


Рис. 2. Структура амфибол (Amf)-плагиоклазового (Plg) агрегата габброида из Сюнай-Салинской площади (скв. 45, гл. 2472 м): а – с анализатором, б – без анализатора.

Полированный шлиф, ширина снимка 1.5 мм.

Fig. 2. Texture of amphibole (Amf)-plagioclase (Plg) aggregate from gabbroid of the Syunay-Salin area (borehole 45, depth 2472 m): a – with analyzer, б – without analyzer.

Thin polished section, the width is 1.5 mm.

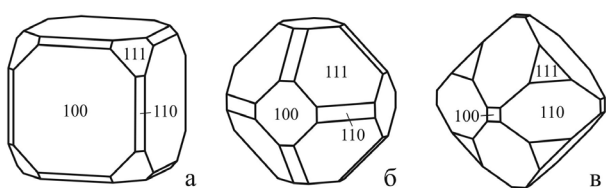


Рис. 3. Формы кристаллов пирита из габброидов Сюнай-Салинской площади (скв. 45, гл. 2472 м).

Fig. 3. Morphology of pyrite crystals from gabbroids of the Syunay-Salin area (borehole 45, depth 2472 m).

части) и амфибол (железистая роговая обманка), а также вторичные минералы – альбит, олигоклаз, актинолит (железистый тремолит), хлорит (шамозит), серицит (мусковит), пумпеллиит-(Al) и минералы группы эпидота (цоизит, клиноцоизит и эпидот). Кроме того, отмечается присутствие редкого ксеноморфного кварца (реликтового или вторичного?). Из аксессуарных минералов в породе установлены титанит, фторапатит и ильменит. Главными сульфидными минералами в породе являются пирит и халькопирит, редкие – пирротин, пентландит, кубанит, саманиит и галенит.

Пирит образует отчетливые кристаллы преимущественно кубического габитуса размером до 1 мм в поперечнике. В выделенной тяжелой фракции породы кристаллы пирита обладают хорошей огранкой с зеркальными гранями. В основном, индивиды представлены гексаэдром {100} с подчиненными ему октаэдром {111} и пентагондодекаэдром {110} (рис. 3а). В редких случаях в огранке начинает преобладать октаэдр (рис. 3б) и еще реже – пентагондодекаэдр (рис. 3в). Индивиды пирита характеризуются комбинационной штриховкой на гранях гексаэдра. На срезе кристаллы пирита часто содержат включения силикатов, халькопирита, пирротина и галенита (рис. 4а, б). По данным микрозондового анализа пирит имеет устойчивый химический состав с несколько повышенными содержаниями Co (до 4 мас. %, в среднем, около 0.5 мас. %) и Pb (до 0.3 мас. %) (табл. 2). Значимое количество кобальта в пирите объясняется природой субстрата, т.к. повышенные содержания Co (наряду с Ni) типоморфны для основных и ультраосновных комплексов (Боришанская и др., 1981; Мелекесцева, 2007 и мн. др.).

Халькопирит встречается реже пирита и образует мелкие ксеноморфные зерна размером до 50–100 мкм, распыленные по всей матрице породы, и часто образует включения в крупных индивидах пирита (рис. 4а, б). Зерна халькопирита не

содержат видимых включений минералов и имеют устойчивый химический состав (табл. 2) с небольшой, но постоянной примесью Pb (до 0.2 мас. %), вероятно, связанной с присутствием микровключений галенита.

Пирротин образует мелкие и вытянутые включения размером до 20 мкм в крупных индивидах пирита. Часто содержит включения пентландита (рис. 4в). По данным микрозондового анализа минерал характеризуется повышенными содержаниями Ni (до 0.4 мас. %) и Pb (до 0.2 мас. %) (табл. 2). По данным СЭМ в других зернах сульфида отмечаются более высокие примеси Ni (до 1.1 мас. %) и присутствие Co (до 0.5 мас. %). В целом, повышенное содержание Ni (около 1 %) в пирротине характерно для его гексагональных разновидностей (Batt, 1972).

Пентландит находится в зернах пирротина в виде мелких вытянутых включений размером до 5 мкм (рис. 4в). По данным микрозондового анализа минерал содержит примесь Cu от 3.5 до 6.5 мас. % (табл. 3). По классификации (Шишкин и др., 1974), в которой низкокобальтовый пентландит (Co < 10 ат. %) разделяется на три разновидности по Ni / Fe отношению: никелистый пентландит (Ni / Fe > 1.30), собственно пентландит (Ni/Fe в пределах 0.90–1.30) и железистый пентландит (Ni / Fe < 0.90), сюнай-салинский сульфид относится к железистым пентландитам с Ni / Fe отношением 0.68–0.78.

Минерал, близкий по составу к саманииту $\text{Cu}_2(\text{Fe}_5\text{Ni}_2)_7\text{S}_8$ (табл. 3), установлен в сростании с пентландитом в краевой части включения пирротина (рис. 4в). Размер зерна саманиита составляет 1–2 мкм. К сожалению, из-за небольшого размера зерна оптические и другие диагностические исследования провести не удалось. Саманиит был открыт в гипербазитах острова Хоккайдо (Япония), где он замещает медистый пентландит (Kitakaze et al., 2011). Вполне вероятно, что это первая находка минерала на территории России.

Кубанит образует тонкие каймы (до 1–2 мкм) на границе включений халькопирита (рис. 4г) в кристаллах пирита, а также редкие зерна (размером до 10 мкм) в сростании с галенитом (рис. 4д). Состав сульфида близок к стехиометричному (табл. 3), что позволяет отнести его к низкотемпературному кубаниту (Nenasheva, Kravchenko, 2015).

Галенит образует мелкие включения (до 1–2 мкм) в кристаллах пирита и зернах халькопирита, а также зерна (размером до 10 мкм) в сростании с кубанитом (рис. 4д). Галенита в кристаллах пирита

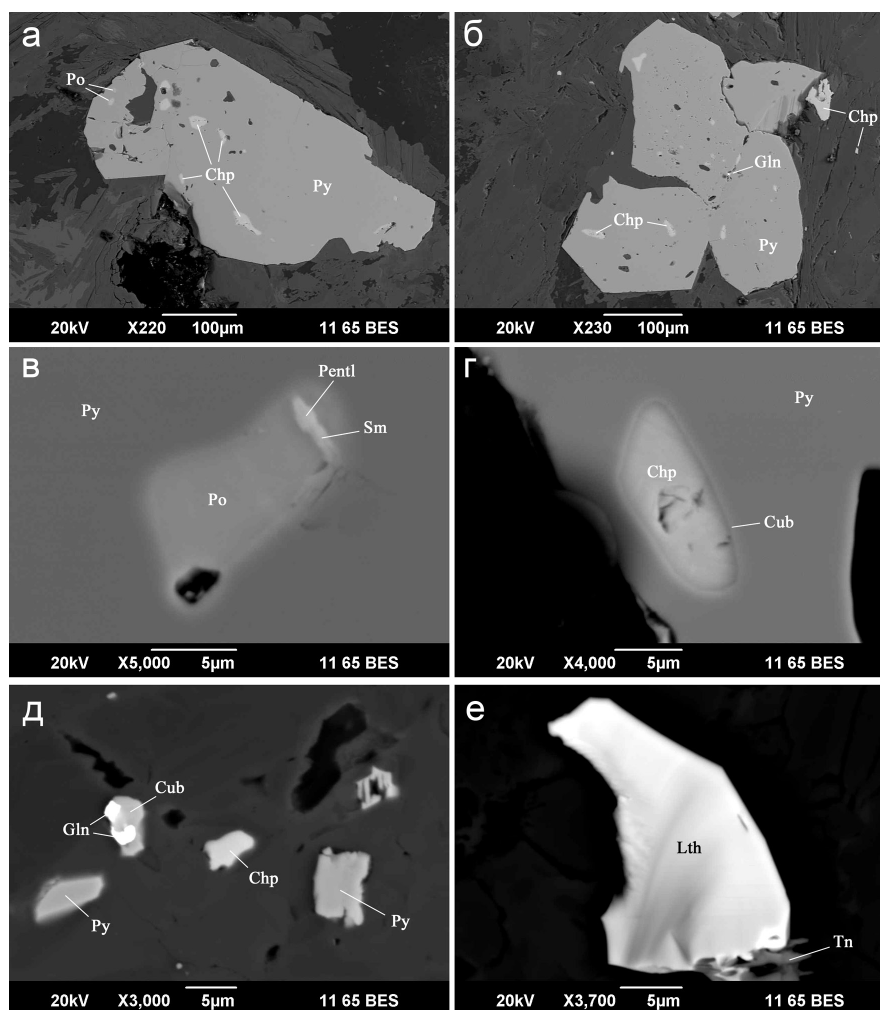


Рис. 4. Включения аксессуарных рудных минералов в габброидах Сюнай-Салинской площади (скв. 45, гл. 2472 м):

а – пирротин (Po) и халькопирит (Chp) в пирите (Py); б – халькопирит и галенит (Gln) в пирите; в – пирротин с пентландитом (Pentl) и саманиитом (Sm) в пирите; г – халькопирит с каймой кубанита (Cub) в пирите; д – срастание галенита и кубанита в ассоциации с халькопиритом и пиритом; е – глёт (Lth) и тенорит (Tn) в породе. BSE-фото.

Fig. 4. Inclusions of accessory ore minerals in gabbroids of the Syunay-Salin area (borehole 45, depth 2472 m):

а – pyrrhotite (Po) and chalcopyrite (Chp) in pyrite (Py); б – chalcopyrite and galena (Gln) in pyrite; в – pyrrhotite with pentlandite (Pentl) and samaniite (Sm) in pyrite; г – chalcopyrite with cubanite (Cub) rim in pyrite; д – aggregate of galena and cubanite in assemblage with chalcopyrite and pyrite; е – litharge (Lth) and tenorite (Tn) in gabbroid. BSE-images.

характеризуется примесью Fe (до 1.4 мас. %) и Se (до 0.8 мас. %) (табл. 3). Зерна галенита в срастании с кубанитом обогащены Fe (до 6.2 мас. %) и Cu (до 2.3 мас. %) при более высоком содержании S (до 16.7 мас. %; в чистом галените количество серы не превышает 13.8 мас. %). Вероятнее всего, такой состав обусловлен присутствием механической примеси кубанита (вполне возможно, в виде твердого раствора). Интересно, что в породе присутствуют глёт-теноритовые выделения (рис. 4е), которые, по всей видимости, и образовались по галениту с включениями кубанита.

Обсуждение результатов

Полученные данные по химическому и минеральному составу породы позволяют говорить о том, что фрагмент керна, отобранный на глубине 2472 м, является габброидом. В пользу этого говорит не только силикатная часть породы, сложенная битовнитом, лабрадором, пумпеллиитом и другими минералами, но и сульфидная минерализация, представленная пиритом, халькопиритом, пирротин, пентландитом, больше характерная для основных пород, чем для средних. Это противоречит

Таблица 2

Химический состав пирита, халькопирита и пирротина из габброида Сюнай-Салинской скважины № 45 (мас. %)

Table 2

Chemical composition of pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite from gabbroid of the Syunay-Salin borehole no. 45 (wt. %)

№ п/п	Fe	Ni	Cu	Zn	S	Co	Pb	Cd	Se	Сумма	Кристаллохимические формулы
Пирит											
1	45.73	–	0.02	0.05	53.22	0.58	0.16	–	–	99.76	$(\text{Fe}_{0.987}\text{Co}_{0.012}\text{Pb}_{0.001}\text{Zn}_{0.001})_{1.001}\text{S}_{1.999}$
2	43.20	0.01	0.03	0.04	53.14	3.98	0.14	0.01	0.03	100.58	$(\text{Fe}_{0.928}\text{Co}_{0.081}\text{Pb}_{0.001}\text{Zn}_{0.001}\text{Cu}_{0.001})_{1.012}\text{S}_{1.988}$
3	46.11	–	–	0.01	53.02	0.52	0.26	0.05	0.01	99.98	$(\text{Fe}_{0.995}\text{Co}_{0.010}\text{Pb}_{0.002}\text{Cd}_{0.001})_{1.008}\text{S}_{1.992}$
4	45.68	0.01	0.01	–	53.23	0.94	0.03	0.01	–	99.91	$(\text{Fe}_{0.984}\text{Co}_{0.019}\text{Pb}_{0.001})_{1.003}\text{S}_{1.997}$
5	46.16	–	–	0.02	53.30	0.57	0.14	0.01	–	100.20	$(\text{Fe}_{0.992}\text{Co}_{0.012}\text{Pb}_{0.001})_{1.005}\text{S}_{1.995}$
Халькопирит											
6	31.08	–	34.84	–	34.96	–	0.06	0.03	–	100.97	$\text{Cu}_{0.999}\text{Fe}_{1.014}\text{S}_{1.987}$
7	31.03	–	34.46	–	34.79	–	0.05	–	0.02	100.35	$\text{Cu}_{0.994}\text{Fe}_{1.017}(\text{S}_{1.988}\text{Se}_{0.001})_{1.989}$
8	31.46	0.03	33.75	–	35.01	–	0.16	–	0.01	100.42	$(\text{Cu}_{0.971}\text{Pb}_{0.001}\text{Ni}_{0.001})_{0.973}\text{Fe}_{1.030}\text{S}_{1.997}$
Пирротин											
9	60.89	0.42	0.01	–	38.05	–	0.22	–	0.02	99.61	$(\text{Fe}_{7.156}\text{Ni}_{0.047}\text{Pb}_{0.007}\text{Cu}_{0.001})_{7.211}(\text{S}_{7.787}\text{Se}_{0.002})_{7.789}$

Примечание. Анализы сделаны на электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX 100. Здесь и далее, формулы рассчитаны исходя из теоретического содержания суммы атомов в сульфидах.

Note. Chemical composition is analyzed on a CAMECA SX100 microprobe. The formulas are recalculated to atom sum.

Таблица 3

Составы пентландита, саманиита, кубанита и галенита из габброида Сюнай-Салинской скважины № 45 (мас. %)

Table 3

Compositions of pentlandite, samaniite, cubanite and galena from gabbroid of the Syunay-Salin borehole no. 45 (wt. %)

№ п/п	Fe	Ni	Cu	Pb	S	Se	Сумма	Кристаллохимические формулы
Пентландит								
1	35.55	27.77	3.47	–	33.21	–	100	$(\text{Fe}_{4.919}\text{Ni}_{3.657}\text{Cu}_{0.422})_{8.998}\text{S}_{8.002}$
2	35.71	24.45	6.42	–	33.42	–	100	$(\text{Fe}_{4.943}\text{Ni}_{3.220}\text{Cu}_{0.781})_{8.944}\text{S}_{8.056}$
Саманиит								
3	33.97	16.16	16.89	–	32.98	–	100	$\text{Cu}_{2.075}(\text{Fe}_{4.748}\text{Ni}_{2.149})_{6.897}\text{S}_{8.028}$
Кубанит								
4	41.88	–	22.76	–	35.36	–	100	$\text{Cu}_{0.972}\text{Fe}_{2.035}\text{S}_{2.993}$
5	42.05	–	23.14	–	34.81	–	100	$\text{Cu}_{0.992}\text{Fe}_{2.051}\text{S}_{2.957}$
6	41.84	–	22.77	–	35.39	–	100	$\text{Cu}_{0.972}\text{Fe}_{2.033}\text{S}_{2.995}$
Галенит								
7	1.24	–	–	85.08	13.05	0.63	100	$(\text{Pb}_{0.969}\text{Fe}_{0.052})_{1.021}(\text{S}_{0.960}\text{Se}_{0.019})_{0.979}$
8	1.38	–	–	85.14	12.72	0.76	100	$(\text{Pb}_{0.976}\text{Fe}_{0.059})_{1.035}(\text{S}_{0.942}\text{Se}_{0.023})_{0.965}$
9	6.15	–	2.27	74.84	16.74	–	100	$(\text{Pb}_{0.702}\text{Fe}_{0.214}\text{Cu}_{0.069})_{0.985}\text{S}_{1.015}$

Примечание. Анализы сделаны на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390LV.

Note. Chemical composition is analyzed on a JSM-6390LV SEM (IGG UB RAS).

данными из работы (Угрюмов, 2014), в которой утверждается наличие здесь монотонного разреза измененных диоритов, даже без каких-либо пересекающих даек или жил. В качестве доказательства приводится выборочное петрографическое описание диоритов с фотографиями их шлифов и всего один химический анализ с глубины 2235 м из большого интервала 2100–2500 м. По нашему мнению, все образцы диоритов, а точнее фотогра-

фии их шлифов, очень напоминают наш пятнистый образец.

В свете полученных данных можно говорить, что диоритовый комплекс в разрезе Сюнай-Салинской скважины № 45 является не монотонным, а расслоенным – переходящим с глубиной от диоритов к габброидам. В забое скважины вскрыта краевая часть (полнокристаллический гранодиорит) кислого интрузива, вероятно, более молодого по

возрасту, тепло от которого могло спровоцировать интенсивные вторичные изменения в габброидоритовом массиве. Судя по присутствию в породе альбита, пумпеллиита, минералов группы эпидота и хлорита, вторичные изменения габброида происходили на уровне низов зеленосланцевой фации.

Если говорить о сульфидной минерализации породы, то она сформировалась при еще более низких температурах. Так, пластинки пентландита возникают при распаде в матрице пирротина в интервале 150–250 °C (Durazzo, Taylor, 1982), а образование кубанита в ассоциации с халькопиритом происходит при температуре 200–210 °C (Костов, Минчева-Стефанова, 1984). Температура кристаллизации саманиита в серпентинизированных перидотитах Коста-Рики оценивается в интервале 200–250 °C (Schwarzenbach et al., 2014). Из этого следует, что сульфидная минерализация в сюнай-салинских габброидах сформировалась при температуре около 200 °C и связана с низкотемпературными процессами пропилитизации.

Выводы

Таким образом, изучен вещественный состав габброидов из доюрского фундамента Сюнай-Салинской площади, расположенной в Арктической части Западно-Сибирского мегабассейна на полуострове Ямал. Установлено, что в скважине № 45 из Сюнай-Салинской площади подсечен расслоенный габброидоритовый массив, хотя ранее он считался монотонным диоритовым (Угрюмов, 2014). Габброиды испытали преобразования в условиях низов зеленосланцевого метаморфизма и подверглись вторичным изменениям в виде наложенной пропилитизации. В результате этого низкотемпературного метасоматического процесса образовалась сульфидная минерализация, представленная пиритом, халькопиритом, пирротинитом, пентландитом, кубанитом, саманиитом и галенитом. Вполне вероятно, что саманиит был найден впервые на территории России. Сульфидная вкрапленность сформировалась при температуре около 200 °C. Эти данные могут представлять интерес с точки зрения связи глубинных флюидов (включая нефть) с гидротермальными процессами. Сходные по минеральному составу габброиды вскрыты в доюрском фундаменте к юго-востоку от г. Салехард в скважине № 4.

Исследования проведены при поддержке РФФИ (проект № 18-05-70016).

Литература

- Арешев Е.Г., Гаврилов В.П., Донг Ч.Л., Зао Н., Попов О.К., Поспелов В.В., Шан Н.Т., Шнип О.А. (1997) Геология и нефтегазоносность фундамента Зондского шельфа. М., Нефть и газ, 288 с.
- Боришанская Б.С., Виноградова Р.А., Крутов Г.А. (1981) Минералы никеля и кобальта. М., МГУ, 224 с.
- Бочкарев В.С., Брехунцов А.М., Лукомская К.Г. (2010) Складчатый фундамент полуострова Ямал. *Горные ведомости*, (8), 6–35.
- Бочкарев В.С., Брехунцов А.М., Нестеров (мл.) И.И., Огнев Д.А. (2018) О целенаправленном изучении перспектив нефтегазоносности палеозойских комплексов Западной Сибири. *Горные ведомости*, (5), 6–19.
- Вотяков С.Л., Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Хиллер В.В., Бочкарев В.С., Захаров А.В., Коротков С.А. (2013) Вещественный состав и химическое микрозондовое Th–U–Pb-датирование гранитов из фундамента полуострова Ямал. *Литосфера*, 13(3), 57–66.
- Вотяков С.Л., Иванов К.С., Хиллер В.В., Бочкарев В.С., Ерохин Ю.В. (2011) Химическое микрозондовое Th–U–Pb-датирование монацита и уранинита из гранитов фундамента Ямала. *Доклады АН*, 439(2), 244–247.
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С. (2015) Фаялит из габбро доюрского фундамента Новопортовской площади (Южный Ямал, Арктика). *Труды ИГГ УрО РАН*, 162, 159–162.
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С. (2016) Минералогия фаялитового габбро из доюрского фундамента Новопортовской площади (Южный Ямал, Арктика). *Вестник Уральского отделения РМО*, (13), 43–51.
- Ерохин Ю.В., Хиллер В.В., Иванов К.С., Рыльков С.А., Бочкарев В.С. (2014) Минералогия метаморфических сланцев из доюрского основания южной части полуострова Ямал. *Литосфера*, 14(5), 136–140.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Бочкарев В.С., Сергеев С.А., Шокальский С.П. (2012) Изотопное U–Pb-датирование гранитов из фундамента Ямала. *Горные ведомости*, (11), 26–34.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Пономарев В.С., Федоров Ю.Н., Кормильцев В.В., Клец А.Г., Сажнова И.А. (2007) Гранитоидные комплексы фундамента Западной Сибири. *Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири*. Тюмень, ФГУП «ЗапСибНИИГГ», 49–56.
- Костов И., Минчева-Стефанова Й. (1984) Сульфидные минералы. Кристаллохимия, парагенезис, систематика. М., Мир, 281 с.
- Мелекесцева И.Ю. (2007) Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур. М., Наука, 245 с.
- Угрюмов А.Н. (2014) Диориты в разрезе 45 Сюнай-Салинской скважины. *Горные ведомости*, (9), 44–48.

Федоров Ю.Н., Иванов К.С., Садыков М.Р., Печеркин М.Ф., Криночкин В.Г., Захаров С.Г., Краснобаев А.А., Ерохин Ю.В. (2004) Строение и перспективы нефтегазоносности доюрского комплекса территории ХМАО: новые подходы и методы. *Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО*. Ханты-Мансийск, 1, 79–90.

Харин Н.В., Шелехов А.П. (2005) Особенности строения Верхнореченской зоны разломов. *Горные ведомости*, (12), 64–73.

Шишкин Н.Н., Карпенков А.М., Кулагов Э.А., Митенков Г.А. (1974) О классификации минералов группы пентландита. *Доклады АН СССР*, 217(1), 194–197.

Batt A.P. (1972) Nickel distribution in hexagonal and monoclinic pyrrhotite. *Canadian Mineralogist*, 11, 892–897.

Durazzo A., Taylor L.A. (1982) Exsolution in the Mss-Pentlandite system: textural and genetic implications for Ni-sulfide ores. *Mineralium Deposita*, 17, 313–332.

Kitakaze A., Itoh H., Komatsu R. (2011) Horomanite, $(\text{Fe,Ni,Co,Cu})_9\text{S}_8$, and samaniite $\text{Cu}_2(\text{Fe,Ni})_7\text{S}_8$ new mineral species from the Horoman peridotite massif, Hokkaido, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 106, 204–210.

Nenasheva S.N., Kravchenko T.A. (2015) Composition features of isocubanite and polymorphous modifications of CuFe_2S_3 compound. *Geology of Ore Deposits*, 57, 626–633.

Schwarzenbach E.M., Gazel E., Caddick M.J. (2014) Hydrothermal processes in partially serpentinized peridotites from Costa Rica: evidence from native copper and complex sulfide assemblages. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 168, 1079.

References

Areshev E.G., Gavrilov V.P., Dong Ch.L., Zao N., Popov O.K., Pospelov V.V., Shan N.T., Shnip O.A. (1997) [Geology and petroleum potential of the basement of the Sunda shelf]. Moscow, Neft i Gas, 288 p. (in Russian)

Batt A.P. (1972) Nickel distribution in hexagonal and monoclinic pyrrhotite. *Canadian Mineralogist*, 11, 892–897.

Bochkarev V.S., Brekhuntsov A.M., Lukomskaya K.G. (2010) [Fold basement of the Yamal Peninsula]. *Gornyye vedomosti [Mining Newsletters]*, (8), 6–35. (in Russian)

Bochkarev V.S., Brekhuntsov A.M., Nesterov (jn.) I.I., Ognev D.A. (2018) [Targeted study of prospects for oil and gas potential of the Paleozoic complexes of the Western Siberia]. *Gornyye vedomosti [Mining Newsletters]*, (5), 6–19. (in Russian)

Borishanskaya B.S., Vinogradova R.A., Krutov G.A. (1981) [Ni and Co minerals]. Moscow, MGU, 224 p. (in Russian)

Durazzo A., Taylor L.A. (1982) Exsolution in the Mss-Pentlandite system: textural and genetic implications for Ni-sulfide ores. *Mineralium Deposita*, 17, 313–332.

Erokhin Yu.V., Ivanov K.S. (2015) [Fayalite from gabbro of the pre-Jurassic basement of Novoportovskaya area (South Yamal, Arctic)]. *Trudy IGG UrO RAN [Proceedings of the Institute of Geology and Geochemistry of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences]*, 162, 159–162. (in Russian)

Erokhin Yu.V., Ivanov K.S. (2016) [Mineralogy of fayalite gabbro from the pre-Jurassic basement of Novoportovskaya area (South Yamal, Arctic)]. *Vestnik Ural'skogo otdeleniya RMO [Bulletin of the Ural Branch of the Russian Mineralogical Society]*, (13), 43–51. (in Russian)

Erokhin Yu.V., Khiller V.V., Ivanov K.S., Ril'kov S.A., Bochkarev V.S. (2014) [Mineralogy of metamorphic schists from the pre-Jurassic basement of the southern part of the Yamal Peninsula]. *Litosfera [Lithosphere]*, 14(5), 136–140. (in Russian)

Fedorov Yu.N., Ivanov K.S., Sadykov M.R., Pecherkin M.F., Krinochkin V.G., Zakharov S.G., Krasnobayev A.A., Erokhin Yu.V. (2004) [Structure and oil and gas potential of the pre-Jurassic complex of the territory of the KhMAO: new approaches and methods]. *Puti realizatsii neftegazovogo potentsiala KHMAO [Ways of using of oil and gas potential of KhMAO]*. Khanty-Mansiysk, 1, 79–90. (in Russian)

Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Bochkarev V.S., Sergeev S.A., Shokal'sky S.P. (2012) [Isotopic U-Pb dating of granites from the Yamal basement]. *Gornyye vedomosti [Mining Newsletters]*, (11), 26–34. (in Russian)

Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Ponomarev V.S., Fedorov Yu.N., Kormil'tsev V.V., Klets A.G., Sazhnova I.A. (2007) [Granitoid complexes of the basement of Western Siberia]. *Sostoyaniye, tendentsii i problemy razvitiya neftegazovogo potentsiala Zapadnoy Sibiri [State, trends and problems of the development of oil and gas potential of Western Siberia]*. Tyumen, FGUP «ZapSibNIIGG», 49–56. (in Russian)

Kitakaze A., Itoh H., Komatsu R. (2011) Horomanite, $(\text{Fe,Ni,Co,Cu})_9\text{S}_8$, and samaniite $\text{Cu}_2(\text{Fe,Ni})_7\text{S}_8$ new mineral species from the Horoman peridotite massif, Hokkaido, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 106, 204–210.

Kharin N.V., Shelekhov A.P. (2005) [Structural features of the Verkhnorechenskaya fault zone]. *Gornyye vedomosti [Mining Newsletters]*, (12), 64–73. (in Russian)

Kostov I., Mincheva-Stefanova Y. (1984) [Sulfide minerals. Crystal chemistry, parageneses, systematics]. Moscow, Mir, 281 p. (in Russian)

Melekestseva I.Yu. (2007) [Heterogeneous cobalt-bearing massive sulfide deposits in ultramafic rocks from the paleoisland-arc structures]. Moscow, Nauka, 245 p. (in Russian)

- Nenasheva S.N., Kravchenko T.A.** (2015) Composition features of isocubanite and polymorphous modifications of CuFe_2S_3 compound. *Geology of Ore Deposits*, **57**, 626–633.
- Schwarzenbach E.M., Gazel E., Caddick M.J.** (2014) Hydrothermal processes in partially serpentinized peridotites from Costa Rica: evidence from native copper and complex sulfide assemblages. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **168**, 1079.
- Shishkin N.N., Karpenkov A.M., Kulagov E.A., Mitenkov G.A.** (1974) [Classification of minerals of the pentlandite group]. *Doklady AN SSSR [Doklady Academy of Sciences of the USSR]*, **217**(1), 194–197. (in Russian)
- Ugryumov A.N.** (2014) [Diorites in section 45 of the Syunay-Salin borehole]. *Gornyye vedomosti [Mining Newsletters]*, (9), 44–48. (in Russian)
- Votyakov S.L., Ivanov K.S., Khiller V.V., Bochkarev V.S., Erokhin Yu.V.** (2011) Chemical microprobe Th-U-Pb age dating of monazite and uraninite grains from granites of the Yamal crystalline basement. *Doklady Earth Sciences*, **439**(1), 994–997.
- Votyakov S.L., Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Khiller V.V., Bochkarev V.S., Zakharov A.V., Korotkov S.A.** (2013) [Mineral composition and chemical microprobe Th-U-Pb-dating of granites from the basement of the Yamal Peninsula]. *Litosfera [Lithosphere]*, **13**(3), 57–66. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 6 сентября 2019 г.