

12. Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram // *Journal of Petrology*. 1986. V. 27. P. 745-750.
13. McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth // *Chem. Geol.* 1995. V. 120. P. 223-253.
14. Rybin A., Chibisova M., Webley P. et al. Satellite and ground observations of the June 2009 eruption of Sarychev Peak volcano, Matua Island, Central Kuriles // *Bulletin of Volcanology*. 2011. V. 73. № 4. P. 40-56.
15. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. and Norry M.J. (eds), *Magmatism in ocean basin* // *Geol. Soc. London. Spec. Pub.* 1989. V. 42. P. 313-345.

References

1. Arslanov H.A., Melekestsev I.V., Razzhigaeva N.G., Degterev A.V., Rybin A.V. Vozrast pochvenno-piroklasticheskogo chekhla i hronologiya vulkanicheskoy aktivnosti na o. Matua (Tsentralnye Kurily) v golotsene [The age of the soil and pyroclastic cover and the chronology of volcanic activity on Matua Island (Central Kuriles) during the Holocene] // *Materialy VII Vseros. soveshch. po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. T. 1. Apatity; SPb.: Ros. akad. nauk, Otd. nauk o Zemle, Komissiya po izuch. chetvertich. perioda, Geologicheskii in-t KNTS RAN, 2011. P. 43-45.
2. Gorshkov G.S. Vulkanizm Kuril'skoy ostrovnoy dugi [Volcanism of Kuril Island Arc]. M.: Nauka, 1967. 287 p.
3. Degterev A.V., Rybin A.V., Melekestsev I.V., Razzhigaeva N.G. Eksplozivnye izverzheniya vulkana Pik Sarycheva v golotsene (o. Matua, Tsentralnye Kurily): geohimiya tefry [Explosive eruptions of the Sarychev Peak volcano in the Holocene on Matua Island, the Central Kuriles: the tephra geochemistry] // *Tihookeanskaya geologiya*. 2012. T. 31. № 6. P. 16-26.
4. Ivanov A.N. Ostrov Matua: aktivnyy vulkan i voennaya baza [Matu Island: the active volcano and the military base] // *Priroda*. № 2. 2017. P. 18-26.
5. Ivanov A.N., Belyaev YU.R., Lugovoy N.N., Hismatullin T.I., Degterev A.V., Rybin A.V. Opasnye prirodnye protsessy na ostrove Matua (tsentralnye Kurily) [Dangerous natural processes on the Matua Island (Central Kurils)] // *Georisk*. 2017. № 4. P. 28-39.
6. Levin B.V., Melekestsev I.V., Rybin A.V. i dr. Ekspeditsiya «Vulkan Pik Sarycheva - 2010» (Kuril'skie ostrova) // *Vestnik DVO RAN*. 2010. № 6. P. 152-159.
7. Noveyshiyy i sovremennyy vulkanizm na territorii Rossii [Modern and holocene volcanism in Russia]. M.: Nauka, 2005. 604 p.
8. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Arslanov H.A., Mohova L.M., Degterev A.V., Ganzey K.S., Pshenichnikova N.F., Maksimov F.E., Starikova A.A., Petrov A.YU. Zapis paleogeograficheskikh sobyitiy pozdnelednikovaya-golotsena v organogennykh otlozheniyakh ostrova Matua (Tsentralnye Kurily) [Record of late glacial-Holocene paleogeographical events in organogenic deposits of the Matua Island (Central Kurils)] // *Tihookeanskaya geologiya*. 2018. T. 37. № 5. P. 48-64.
9. Rybin A.V., Degterev A.V., Dudchenko I.P., Guryanov V.B., Romanyuk F.A., Klimantsov I.M. Kompleksnyye issledovaniya na ostrove Matua v 2017 godu [Comprehensive research on Matua Island in 2017] // *Geosistemy perekhodnykh zon*. 2017. № 4(4). P. 21-30.
10. Smyshlyayev A.A. K taynam tumannykh Kuril [To the mysteries of the foggy Kuriles]. Petropavlovsk-Kamchatskiy. 2006. 240 p.
11. Shiryayeva E.V. Sravnitel'no-istoricheskiy analiz usloviy razmeshcheniya bakteriolozhicheskikh laboratoriy kvantunskoy armii na ostrove Matua [Comparative historical analysis of the placement conditions of bacteriological laboratories of the Kwantung Army on Matua Island] // *Bereginya*. 777. Sova. 2016. Vyp. 30. № 3. S. 130-137.
12. Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram // *Journal of Petrology*. 1986. V. 27. P. 745-750.
13. McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth // *Chem. Geol.* 1995. V. 120. P. 223-253.
14. Rybin A., Chibisova M., Webley P. et al. Satellite and ground observations of the June 2009 eruption of Sarychev Peak volcano, Matua Island, Central Kuriles // *Bulletin of Volcanology*. 2011. V. 73. № 4. P. 40-56.
15. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. and Norry M.J. (eds), *Magmatism in ocean basin* // *Geol. Soc. London. Spec. Pub.* 1989. V. 42. P. 313-345.

МИНЕРАЛЬНЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СУЛЬФИДНОЙ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАНУЧ (КАМЧАТКА)

Кунгурова Валентина Егоровна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, 683002, Российская Федерация, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30, e-mail: kunwe@yandex.ru

Приведены данные, полученные по скважине 110, пробуренной на медно-никелевом месторождении Шануч (Камчатка) по рудному телу 1. Строение рудного тела сложное, массивные руды перемежаются с брекчиевидными, переходящими в пятнисто-вкрапленные, прожилково-вкрапленные. В массивных и брекчиевидных рудах преобладает пирротин (50–75 %), пентландит (5–45 %) и халькопирит (5–15). Менее распространен виоларит (0–25 %); редко встречаются пирит (0–5 %), никелин, миллерит. Прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды представлены преимущественно пиритом, виоларитом, пирротином. Результаты химического состава рудных минералов и факторный анализ химического состава руд свидетельствуют об эволюции сульфидного расплава в процессе его кристаллизации, а также о последующих поздне-(мета-) магматических преобразованиях руд.

Ключевые слова: Камчатская никеленосная провинция, медно-никелевое месторождение Шануч, сульфидные минералы, факторный анализ

MINERAL AND CHEMICAL COMPOSITION OF SULFIDE COPPER-NICKEL ORE DEPOSIT SHANUCH (KAMCHATKA)

Kungurova Valentina Ye., C.Sc. in Geology and Mineralogy, Leading Researcher, Research Geotechnological Center Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 30 Severo-Vostochnoye shosse, Astrakhan, 683002, Russian Federation, e-mail: kunwe@yandex.ru

The data obtained from the borehole 110 drilled at the copper-nickel deposit Shanuch (Kamchatka) on the ore body 1 are presented. The structure of the ore body is complex, massive ores are interspersed with brecciated ores transforming to spotty disseminated and stringer-disseminated ores. In massive and brecciated ores predominant minerals are pyrrhotite (50–75 %), pentlandite (5–45 %) and chalcopyrite (5–15 %). Violarite is less common (0–25 %); rarely found pyrite (0–5 %), nickeline, millerite. Stringer-disseminated and disseminated ores are represented by pyrite, violarite, and pyrrhotite. The results of the chemical composition of ore minerals and factor analysis of the chemical composition of ores indicate the evolution of the sulfide melt during its crystallization, as well as subsequent late-(meta-) magmatic transformations of ores.

Keywords: Kamchatka nickel province, copper-nickel deposit Shanuch, sulfide minerals, factor analysis

В пределах Камчатской никеленосной провинции [3], приуроченной к Камчатскому срединному массиву (КСМ), выделяются рудные районы: Шанучский, Дукукский и потенциально никеленосный Колпаковский (рис. 1). Шанучский никеленосный район, площадью около 400 км², расположен на северной оконечности КСМ. В его пределах расположено одноименное рудное поле с медно-никелевым месторождением Шануч, рудопроявлениями Восточно-Геофизическое, Графитовое и рядом точек минерализации никеля. В геологическом строении района принимают участие главным образом, домеловые высокоглиноземистые углеродсодержащие кристаллические сланцы и гнейсы [2]. На восточном и западном флангах рудного поля они перекрыты ранне-позднемеловыми метатерригенными породами хейванской свиты.

Породы прорваны серией многофазных гранитоидных интрузий позднемелового и ранне-неогенового возраста. В пределах района отмечаются многочисленные малые интрузии и дайки дукукского комплекса, проявленного в позднем палеоцене-эоцене и сложенные породами горнблендит-габбро-диоритовой ассоциации, с которыми генетически связано медно-никелевое оруденение. Структуру рудного поля формирует система разрывных нарушений, состоящая из разломов субширотной и северо-западной ориентировки. Разломы северо-западного направления являются более молодыми, они смещают субширотные на расстояние в десятки метров. Никелевое оруденение нередко располагается в местах пересечения субширотных разломов с северо-западными.

Общей закономерностью строения рудных тел на Шанучском месторождении является их сложная жилообразная, линзовидная форма и морфологическая неоднородность в поперечном сечении и на глубину. Месторождение состоит из серии разобщенных рудных тел (1, 2, 3, 4, 4–1), которые локализованы в небольших интрузиях мафит-ультрамафитового состава.

Сульфидная минерализация рудного тела 1 (рис. 2, 3) сосредоточена в крутопадающем теле расслоенной интрузии, мощность которой колеблется от 25 до 105 м [4]. Рудное тело 1 имеет зональное строение: вокруг одиночных или сближенных жил сплошной сульфидной руды мощностью от 0,2 до 3,5 м наблюдаются зоны брекчиевидных и брекчиевидно-прожилковых руд мощностью от 0,3 до 7,0 м. Массивные и брекчированные руды оторочены зонами прожилковых и вкрапленных мощностью от 2 до 10 м.

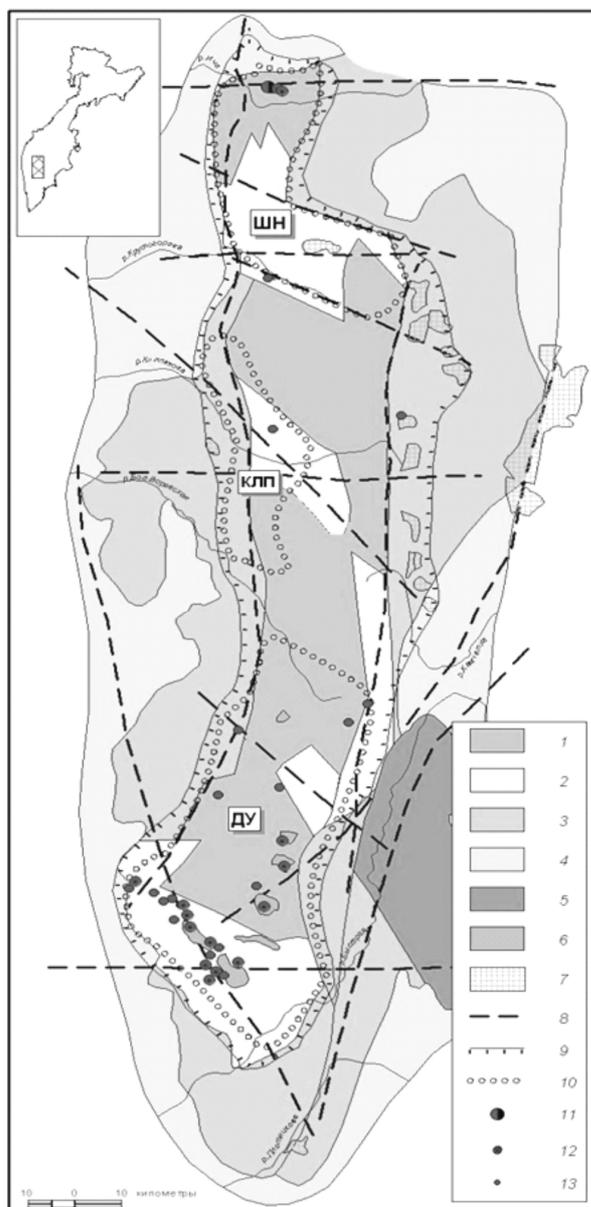


Рис. 1. Камчатская никеленосная провинция (по Ю.В. Бархатову, Г.В. Кувакину, 1982) [1]

Условные обозначения: 1, 2 – блоки фундамента Камчатского срединного массива: позднепротерозойского-раннепалеозойского (1), позднепалеозойского (2) возраста; 3, 4 – структуры обрамления: мезозойские (3), кайнозойские (4); 5 – Ганальский метаморфический блок; 6, 7 – плутонические комплексы: (позднепалеоцен-эоценовый) дукукский габбро-норит-кортландитовый (6), умеренно-щелочной клинопироксенит-габбро-монцитовый (7); 8 – оси тектонических разрывных зон; 9 – граница Камчатской никеленосной провинции; 10 – рудные районы: ШН – Шанучский, ДУ – Дукукский, КЛП – прогнозируемый Колпаковский; 11–13: медно-никелевое месторождение Шануч (11), проявления (12), пункты минерализации (13)

Результаты исследований и их обсуждение. Работы по исследованию сульфидных медно-никелевых руд проводились Научно-исследовательским центром ДВО РАН по договору с ЗАО НПК «Геотехнология». Изучены руды по керну скважины 110 (глубиной 202 м), пробуренной на месторождении Шануч по рудному телу 1. Опробованы вмещающие породы и руды в интервале 75–185 м. Строение рудного тела сложное (рис. 3). Массивные руды перемежаются с брекчиевидными, переходящими в пятнисто-вкрапленные, прожилково-вкрапленные. Результаты анализов по основным полезным компонентам – никелю, меди, кобальту, элементам

платиновой группы, золоту, приведены на рисунке 4. Отобраны и изучены образцы наиболее представительных типов руд, исследован их минеральный состав и определены содержания основных полезных компонентов (табл. 1). Использованы результаты анализов: атомно-абсорбционного, проведенного в ЦЛ ОАО «Камчатгеология»; рентгенофлуоресцентной спектрометрии (полуколичественный метод) на «S4 PIONEER» (исполнители Карташева Е.В., Чеброва Н.И., Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН)). Рентгеноспектральные микронзондовые исследования состава главных рудообразующих минералов описываемых типов руд были проведены на микроанализаторе CAMEBAX-244 в ИВиС ДВО РАН (оператор Философова Т.М.), в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН на JEOL JXA-8100 (Гвоздев В.А.).

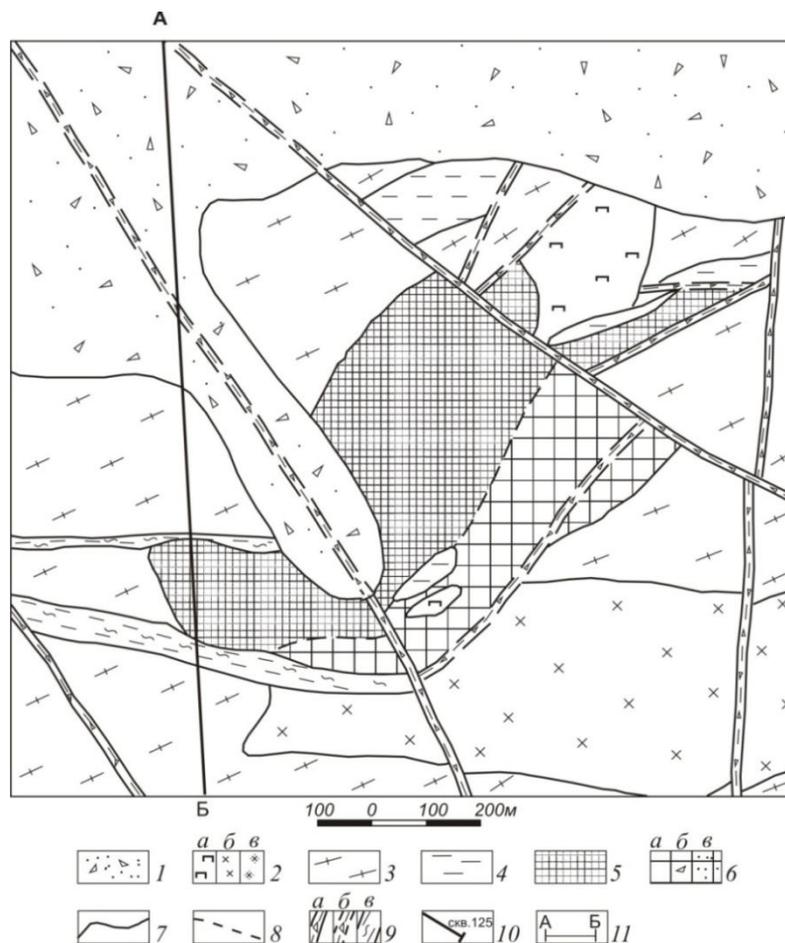


Рис. 2. Схематическая геологическая карта рудного тела 1 месторождения Шануч (с использованием данных ЗАО НПК «Геотехнология», 2006 г.) [4]

Условные обозначения: 1 – рыхлые четвертичные отложения; 2 – интрузии дукуковского комплекса (поздний палеоцен-эоцен): амфиболовые габбро (а), биотит-амфиболовые меладiorиты (б); гранатсодержащие мусковит-биотитовые диориты (в); 3 – крутогоровский гнейсово-плагиогранитовый комплекс (ранний мел): гнейсовидные плагиограниты, гнейсограниты, плагиограниты; 4 – камчатская метаморфическая серия (поздний протерозой): кристаллические сланцы гранат-ставролит-биотитового состава; 5 – окисленные руды; 6 – сульфидные медно-никелевые руды: массивные (а), брекчиевидные (б), прожилково-вкрапленные и вкрапленные (в); 7 – геологические границы; 8 – границы между типами руд; 9 – зоны дробления: достоверные (а), предполагаемые (б), зоны милонитизации (в); 10 – скважины, по которым отобраны образцы руд, их номера; 11 – линия разреза

Массивные руды. Массивные сульфидные руды (обр. 110–22, 110–27а, 110–29, 110–33; табл. 1, рис. 3) составляют центральную часть рудного тела 1 и представлены густо-вкрапленной, участками сплошной рудой. Ведущая текстура руд массивная, ограниченно проявлены

брекчиевидная и прожилково-густовкрапленная, которые вклиниваются в интервалы развития сплошных руд. Под микроскопом в образцах массивных руд наблюдаются изометрические и удлиненные обломки двух типов вмещающих пород: магматических и осадочных (метасоматически измененные филлиты, кристаллические сланцы). Содержание рудных минералов колеблется от 70 до 90 %. Преобладает пирротин (50–75 %), пентландит (5–45 %) и халькопирит (5–15 %). Менее распространен виоларит (0–25 %); редко встречаются пирит (0–5 %), никелин, миллерит. Единичны эмульсионные включения (менее 0,001 мм) минералов платиновой группы в халькопирите и пирротине. Незначительные размеры не позволяют провести их диагностику даже рентгеноспектральным микроанализом.

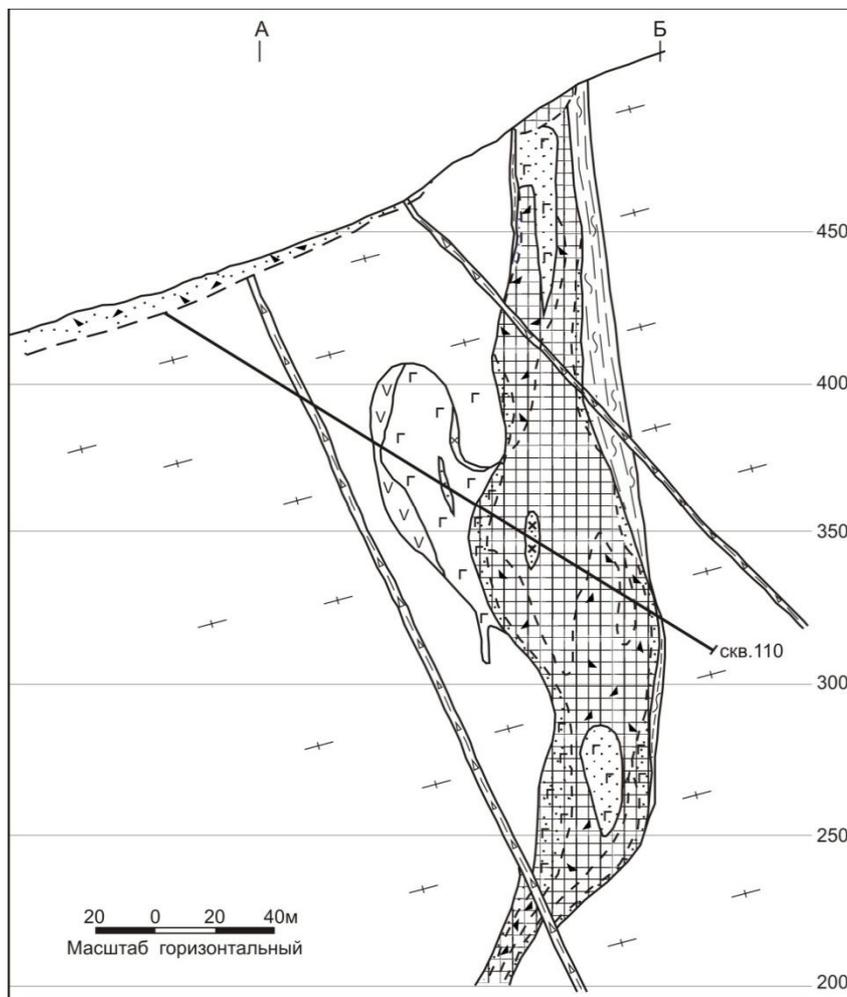


Рис. 3. Схематический разрез по рудному телу 1 месторождения Шануч.
Условные обозначения на рис. 2

Почти всегда преобладающий в массивных рудах *пирротин* образует сплошные агрегаты ксеноморфных зерен (до 1–1,5 мм в поперечнике), а также монозерна среди нерудных минералов. Это изометрические, таблитчатые и октаэдрические кристаллы свежего облика.

Ранее проведенные исследования [8, 9] показали, что пирротины из массивных типов руд при сравнении с таковыми из прожилково-вкрапленных и брекчиевидных обогащены железом (на 2–3 %) и несколько обеднены серой (на 1–2 %). При этом в целом для всех типов руд наблюдается меньшее количество железа (3–6 %) и большее (на 1–3 %) – серы при сравнении с теоретическим составом пирротина [6]. Содержания никеля в пирротине из массивных руд составляют 1,05–2,34 %.

Таблица 1

Номера проб	Интервал опробования по скважине, м	Характеристика породы; содержание рудных минералов	Характеристика рудного тела 1 (месторождение Шану) по скважине 110		Характеристика руды				Содержание, мас. %			
			Тип	минеральный состав	Ni	Cu	Co	Mi / Cu				
110-12*	102,8–103,0	амфибол-биотитовый меладiorит 10–20 % – руда	вкрапленная	виоларит-пиритовый: py–65–70 % vi–20–25 % sp–3–5 % po–1 %	1,64	0,017	0,0520	96				
110-15**	107,9–108,1	амфибол-биотитовый меладiorит; 25–30 % – руда	вкрапленная, переходящая в прожилково- вкрапленную	виоларит-пиритовый: py–70 % vi–20–25 % sp–1–3 % po–1 % rp–1 % единично: hm	4,10	0,1163	0,1599	35				
110-17*	109,9–110,1	апоортпироксеновый (талы)- биотитовый амфиболит 15–20 % руды	прожилково- вкрапленная	виоларит-халькопирит-пирит-пирротитовый: po–55–60 % py–10–15 % sp–10–15 % rp–3–5 % vi–3–5 %	2,15	0,027	0,0050	79				
110-19**	120,0–120,2	амфибол-биотитовый меладiorит; 40–45 % – руда	пятнисто-вкрапленная, переходящая в бракчевидную	пентландит-халькопирит-виоларит-пирротитовый: po–60–65 % vi–25–30 % sp–5 % rp–3 % единично: py, mt, hm, ge, nk	5,90	0,1579	0,1760	37				
110-21*	121,7–121,9	апоортпироксеновый (талы)- биотитовый амфиболит 50–55 % руды	гнездово-вкрапленная, переходящая в бракчевидную	виоларит-халькопирит-пентландит-пирротитовый: po–35–55 % rp–10–15 % sp–5–10 % vi–5–10 % единично: py, mt, il	7,19	1,290	0,1700	6				
110-22**	122,5–122,7	апоортпироксеновый (талы)- биотитовый амфиболит; 65–70 % – руда	массивная	пентландит-халькопирит-виоларит-пирротитовый: po–50–55 % vi–25 % sp–15 % rp–3–5 % единично: mt, py, nk	6,36	0,6810	0,1909	9				
110-27a**	133,7–133,9	апоортпироксеновый (талы)- биотитовый амфиболит; 90 % – руда	массивная	халькопирит-пентландит-пирротитовый: rp–45–50 % po–40–45 % vi–5–10 % sp–5 % py–до 1 %	7,87	0,5865	0,2325	13				

Продолжение таблицы 1

110-29**	140,5-140,7	амфибол-биотитовый меладiorит; 85-90 % – руда	массивная	халькопирит-пентландит-пирротиновый: ро-65 % рп-30 % ср-5 % ру-до 1 % vi-0,1 единично: mt, ml	6,31	0,5819	0,1792	11
110-33*	155,8-156,0	апоортитоксеновый (талк)- биотитовый амфиболит; 90 % – руда	массивная	халькопирит-пентландит-пирротиновая: ро-65-75 % рп-15-20 % ср-до 7 % единично: ру, mt, nk, il, vi, ml	8,78	1,570	0,2000	6
110-37*	164,5-164,7	апоортитоксеновый (талк)- биотитовый амфиболит; 25-30 % – руда	брекчиевидная	виоларит-пирит-пирротин-халькопиритовая: ср-55-60 % ро-30-35 % ру-5 % vi-3-5 % рп-1-2 %	4,80	0,700	0,1000	7
110-40*	183,2-183,3	амфибол-биотитовый меладiorит; 20-25 % – руда	прожилково- вкрапленная, переходящая во вкрапленную	виоларит-пентландит-пирит-халькопиритовая: ср-50 % ру-40 % vi-до 10 % единично: ро, рп, nk, gp	1,36	0,130	0,0260	10

Примечание: ро – пирротин, рп – пентландит, ср – халькопирит, ру – пирит, vi – виоларит, mt – магнетит, nk – никелин, il – ильменит, gp – герсдорфит, hm – гематит, ml – миллерит; * – результаты атомно-бюрсионного анализа, проведенного в ЦЛ ОАО «Камчатгеология»; ** – результаты рентгенофлуоресцентного анализа, проведенного в аналитическом Центре ИВЭС ДВО РАН на рентгенофлуоресцентном спектрометре S4 PIONEER» (исполнители Карташева Е.В., Чеброва Н.И.)

Выделения *пентландита* в массивных типах руд состоят из крупных (до 1 мм) эвгедральных и субгедральных кристаллов. В периферических зонах размер зерен минерала уменьшается (до 0,1–0,2 мм). Также пентландит встречается в пирротине в виде порфириковых выделений (где замещается виоларитом), в форме грубопестчатых (имеющих блоковое строение) и пламенивидных включений. Наблюдается присутствие в порфириковых вкрапленниках мелких (менее 0,01 мм) зерен *виоларита*. В грубопестчатых структурах распада пентландита в пирротине нередко присутствует халькопирит. Проведенные исследования показали, что пентландиты характеризуются пониженными концентрациями, относительно теоретических [6, 7], железа (на 2–3 %), серы (на 1–1,5 %) и повышенными никеля (на 3–4 %). Постоянно присутствует кобальт в количестве 0,28–1,17 %.

Вкрапленники *халькопирита* распределены по массе относительно равномерно. Их размеры обычно не более 0,7 мм. Это ксеноморфные выделения, выполняющие интерстиции между зонами пентландита и пирротина. Отмечены повышенные концентрации кобальта (до 1,82 %) и в некоторых образцах (обр. 110–27а, 110–29) никеля (до 30,2 %).

В целом содержания полезных компонентов (рис. 4) в массивных типах руд составляют (%): Ni – 6,31–8,78; Cu – 0,582–1,570; Co – 0,179–0,200; элементы платиновой группы и золото (г/т): Pd – 0,70–1,0; Pt – 0,0–0,70; Au – 0,59–0,50.

Брекчиевидные руды. Массивные руды, вскрытые скв. 110, ближе к краевой части рудного тела 1 сменяются прожилково-брекчиевидными, пятнистыми, брекчиевидными (обр. 110–19, 110–21, 110–37, рис. 3, табл. 1). Распределение сульфидов неравномерное. Их содержание в прожилково-брекчиевых рудах колеблется от 25 до 55 %. Из сульфидных минералов преобладает пирротин (30–65 %), иногда халькопирит (до 60 % в обр. 110–37), присутствует виоларит (3–30 %), менее распространен пирит; встречаются единичные зерна магнетита, ильменита, рутила, марказита.

Пирротин образует крупные зерна размером до 1 мм, с изометричной формой сечений. В них по спайности наблюдаются тонкие пламенивидные или пластинчатые включения пентландита размером до 0,07 мм. Отдельные кристаллы пирротина имеют зональное строение (обр. 110–19). Результаты проведенных исследований пирротинов, отобранных из брекчиевидных руд [8, 9] показали повышенные, относительно теоретических [6], содержания серы (40,65–42,31 %), никеля (2,18–2,77 %), пониженные – железа (54,44–55,58 %). Отмечается присутствие (до 0,01 %) кобальта, теллура, серебра.

Пентландит встречается в виде грубопестчатых агрегатов между зернами пирротина (зерна до 0,1 мм), порфириковых выделений размером до 1–3 мм и идиоморфных кристаллов с выраженной спайностью. Наблюдается замещение грубопестчатого и порфирикового пентландита виоларитом, развивающимся по спайности и микротрещинам. Во встречаемых *виоларитах* присутствует кобальт (0,78 %).

Халькопирит образует единичные зерна (до 0,4 мм), реже вкрапленники (до 1 см) в краевых частях агрегатов пирротина. Вкрапленники халькопирита иногда содержат эмульсионные включения сфалерита. Встречены прожилки мощностью до 0,5 см. В составе *халькопиритов* фиксируются повышенные, относительно теоретического [6, 7], содержания железа (31,15–31,39 %), серы (35,43–36,48 %), пониженные – меди (32,63–33,64 %) [8, 9].

Содержания полезных компонентов (рис. 4) в брекчиевидных и густовкрапленных типах руд составляют (%): Ni – 4,80–7,19; Cu – 0,1579–1,290; Co – 0,10–0,176; элементы платиновой группы и золото (г/т): Pd – 0,20–0,70; Pt – 0,0–0,20; Au – 0,50–0,71.

Вкрапленные и прожилковые руды. Краевые зоны рудного тела 1 представлены вкрапленными (обр. 110–12), прожилково-вкрапленными рудами (обр. 110–15, 110–17, 110–40, табл. 1) с содержанием сульфидов от 10 до 30 %. В зальбандах рудных тел наблюдается изменение вмещающих пород и развитие в них линейно вытянутых сульфидно-силикатных образований. Наблюдаются многочисленные апофизы и прожилки сульфидного материала, импрегнированного в кавернозные и ослабленные участки вмещающей породы. В целом минеральный состав этих руд неоднороден. Вкрапленные руды представлены преимущественно пирритом и виоларитом; прожилково-вкрапленные – пирритом, пирротинном, виоларитом, халькопиритом. Незначительное участие пентландита – от единичного присутствия до 3–5 %. По количественным показателям состав изменяется в широких пределах: содержания пирита колеблются от 10 до 70 %, виоларита – от 5,0 до 25 %, халькопирита – от 3 до 50 %.

Для *пиритов* характерно присутствие примесей (в %): Ni – 0–2,95; Ag – 0–0,02, особенно для поздних прожилков.

Исследуемые *виолариты* являются в основном железистыми: содержание железа в них колеблется от 21,82 до 28,55%, что больше теоретического [6, 7]; но в них меньше никеля – 28,49–35,42 %. Отмечено присутствие кобальта – 0,07–1,25 %. При сопоставлении этих данных с теоретическим составом виоларита возможно предположить, что при образовании виоларитов имело место частичное замещение никеля железом.

В *пирротинах*, при сравнении с их теоретическим составом [6], отмечается пониженное содержание железа (55,58 %) и повышенное – серы (42,31 %) и никеля (2,21 %). Присутствует серебро (0,02 %).

Халькопириты из этого типа руд характеризуются, по сравнению с теоретическим составом [5, 6], повышенным количеством железа – 31,52 %, серы – 35,84 %. В них установлена незначительная примесь теллура – 0,0047 % и серебра – 0,0027 %.

Герсдорфиты встречаются в прожилково-вкрапленных рудах в обр. 110-40. Для их составов характерны пониженные, по сравнению с теоретическими [6, 7], содержания никеля (21,23–32,36 %), мышьяка (41,11–42,57 %) и повышенные – кобальта (0,0–9,41 %). Пониженное содержание никеля и повышенное кобальта в рассматриваемых герсдорфитах может свидетельствовать о том, что минерал занимает промежуточное положение в ряду герсдорфит – кобальтин.

Содержания полезных компонентов (рис. 4) в прожилковых и прожилково-вкрапленных рудах составляют (%): Ni – 1,64–4,10; Cu 0,017–0,117; Co – 0,005–0,159; элементы платиновой группы и золото (г/т): Pd – 0,01–0,2; Pt – 0,0–0,01; Au – 0,004–0,015.

Таким образом, для всех пирротитов, отобранных из различных типов руд, характерно присутствие никеля до 2,77 %. В пентландитах и виоларитах содержится кобальт до 1,25 %. В халькопирите и пирротине содержатся единичные эмульсионные включения (менее 0,001 мм) минералов платиновой группы. Пирит прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд обогащен никелем – до 2,95 %.

Увеличение содержаний железа, никеля, меди, кобальта, палладия и платины в ряду от вкрапленных, прожилково-вкрапленных руд до брекчиевидных и массивных может быть объяснено возрастанием общего количества сульфидов в рудах.

В массивных и брекчиевидных типах руд месторождения Шануч (рудное тело 1) соотношения Ni / Cu находится в пределах 6–13, в прожилково-вкрапленных увеличивается и почти всегда больше 30, а во вкрапленных более 60. Во всех типах руд отношение Ni / Co >30, а палладий преобладает над платиной (Pd / Pt > 1).

Некоторые закономерности взаимосвязи химических элементов в рудах выявлены по результатам статистической обработки данных рентгенофлуоресцентной спектрометрии (полуколичественный метод) на «S4 PIONEER» (исполнители Карташева Е.В., Чеброва Н.И., ИВиС ДВО РАН). Выполнен факторный анализ 38 проб. При этом использовался пакет комплексной интерпретации геолого-геохимической информации «Gold Digger». Во всех типах руд прослеживается тесная положительная корреляционная связь никеля с кобальтом: в прожилково-вкрапленных – 0,983 (при $n = 12$ и коэффициенте корреляции равном 0,532 для 5 % уровня значимости); в брекчиевидных – 0,918 (при $n = 16$ и коэффициенте корреляции равном 0,468 для 5 % уровня значимости); в массивных – 0,980 (при $n = 10$ и коэффициенте корреляции равном 0,576 для 5 % уровня значимости).

Величины собственных значений и веса факторов показывают, что в целом для исследуемой руды значения исследуемых признаков (при $n = 38$) определяются преимущественным действием двух факторов: на 40,0 % – фактора F1 и на 38,1 % F2 (табл. 2). Коэффициенты корреляции являются значимыми ($b = 0,05$) при их абсолютном значении не менее 0,314. Анализ признаковой структуры фактора F1 показывает, что нагрузка этого фактора значимо определяется концентрациями никеля (0,926), кобальта (0,919), железа (0,714) и имеет значимую отрицательную связь с такими элементами, как иттрий (–0,832), свинец (–0,467), марганец (–0,487). Такой набор признаков и характер их действия позволяет предполагать, что фактор F1 отражает процесс накопления никеля, кобальта, железа. Анализ признаковых нагрузок F2 показывает, что он имеет значимую положительную связь со свинцом (0,810), мышьяком (0,807), марганцем (0,724), железом (0,478) и отрицательную с цинком (–0,655), стронцием (–0,509), медью (–0,429). Такая признаковая структура фактора F2 позволяет предполагать,

что он отражает начало завершающей стадии магматического процесса. Фактор F3 несет в себе меньшую долю информации (17,9 %). Его нагрузка определяется содержаниями меди (0,845), цинка (0,577), в незначительной степени свинца (0,314) и отрицательной или нулевой связью с другими элементами. Очевидно, что он отражает гидротермальный процесс, протекающей в заключительную стадию формирования месторождения.

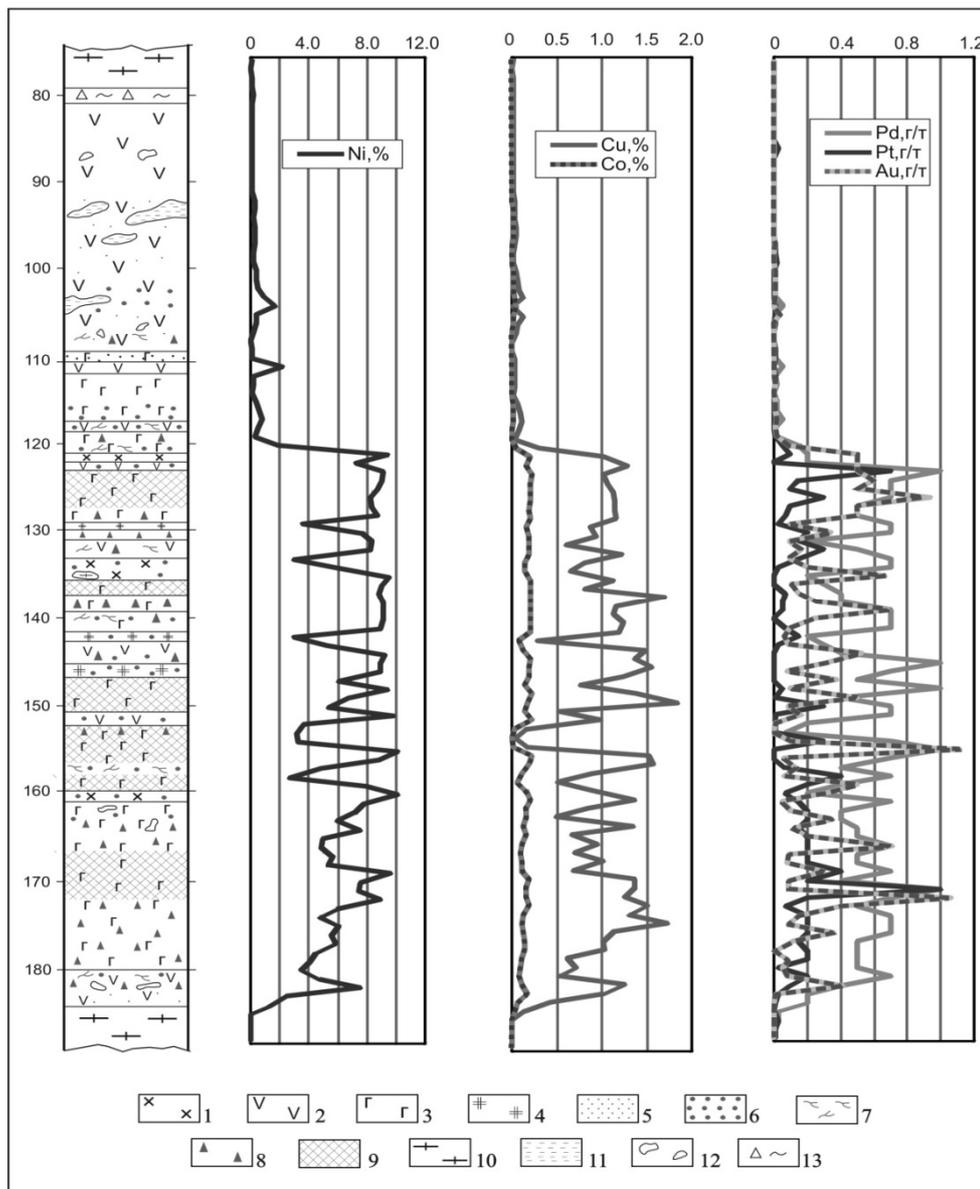


Рис. 4. Содержание полезных компонентов по разрезу рудного тела 1 месторождения Шануч (по керну скважины 110, пробуренной ЗАО НПК «Геотехнология»)

Условные обозначения: 1 – кварцевые диориты, гранодиориты; 2 – амфибол-биотитовые, биотит-амфиболовые меладiorиты; 3 – алопироксенитовые (талек)-биотитовые амфиболиты; 4 – гранофиры; 5–9 – сульфидная медно-никелевая руда: 5 – вкрапленная, 6 – густовкрапленная, 7 – прожилково-вкрапленная; 8 – брекчиевидная, 9 – массивная; 10 – гнейсо-граниты, вмещающие интрузивы никеленосного комплекса; 12 – включения-реликты резорбированного кварца; 13 – зоны дробления, брекчирования.

Атомно-абсорбционный анализ проведен в ЦЛ ОАО «Камчатгеология».

Подробное описание вмещающих оруденение интрузивных пород по керну приведено в статье Се-
 лянгина О.Б. [5]

Таблица 2

Признаки	Факторные нагрузки		
	F1	F2	F3
Fe	0,714	0,478	0,225
Mn	-0,487	0,724	0,073
Ni	0,926	0,120	0,00
Cu	0,00	-0,429	0,845
Co	0,919	0,124	-0,103
As	0,473	0,807	0,292
Zn	0,00	-0,655	0,577
Pb	-0,467	0,810	0,314
Sr	-0,452	-0,509	0,00
Y	-0,832	-0,365	-0,292
Собственные значения	3,36	2,91	1,37
Веса факторов, %	44,0	38,1	17,9

Выводы. Изученный минеральный состав руд по скважине 110, пробуренной по рудному телу 1 месторождения Шануч относительно простой, но строение рудного тела сложное. Массивные руды перемежаются с брекчиевидными, переходящими в пятнисто-вкрапленные, прожилково-вкрапленные.

Главный рудный минерал массивных и брекчиевидных руд – пирротин. Халькопирит, пентландит, виоларит, пирит имеют подчиненное значение. Остальные минералы (никелин, ильменит, гетит, герсдорфит, гематит, миллерит, сфалерит и др.) встречаются редко. В прожилково-вкрапленных и вкрапленных рудах преобладают пирит, виоларит, в меньшем количестве пирротин, халькопирит. Для всех пирротинов, отобранных из различных типов руд, характерно присутствие никеля до 2,77 %. В пентландитах и виоларитах содержится кобальт до 1,25 %. В халькопирите и пирротине содержатся единичные эмульсионные включения (менее 0,001 мм) минералов платиновой группы. Пирит прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд обогащен никелем – до 2,95 %.

В сульфидных минералах отмечается закономерное повышение содержания железа, никеля кобальта от вкрапленных руд до брекчиевидных и массивных, что может быть объяснено эволюцией сульфидного расплава в ходе его кристаллизации. Сульфидные образования, представляющие вкрапленный тип руд, состоящие из пирита, виоларита и халькопирита и которые, как правило, оконтуривают массивные и брекчиевидные руды, сформировались, по видимому, из обогащенных серой и летучими компонентами рудных растворов, проникающих в области рудоотложения по зонам дробления и тектоническим трещинам.

Проведенные исследования дополняют полученные ранее данные об эволюции сульфидного расплава в процессе его кристаллизации и о последующих поздне-(мета-)магматических преобразованиях руд в заключительную стадию их формирования.

Автор выражает благодарность Газзаевой Е.М. за помощь, оказанную при оформлении графических материалов.

Список литературы

1. Кременецкий А.А., Трухин Ю.П. Отчет «Проведение комплекса работ, связанных с геологическим изучением платиново-медно-никелевых руд в южной части Дукукского никеленосного рудного узла Квинум-Кувалорогской зоны». 2003. Т. 1. 331 с.
2. Сидоренко В.И., Селиванов М.Т. Легенда Хангарской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1: 200 000 (издание второе). // Объяснительная записка. КПСЭ ГГП «Камчатгеология», 1998, инв. № 6015.
3. Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д. Камчатская никеленосная провинция // ДАН. Т.418. № 6. 2008. С. 802–805.
4. Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д., Кунгурова В.Е. Шанучское медно-никелевое месторождение: геолого-геофизическая модель, состав и геохимия руд // Руды и металлы. 2009. № 5. С. 75–81.
5. Селянгин О.Б. К сравнительной петрологии интрузивов северной и южной зон Камчатской никеленосной провинции. Часть 1 // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 1, выпуск 23. С. 168–185.
6. Минералы. Справочник. Т. 1. М.: АН СССР. 1960. 617 с.
7. Справочник: Определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра. 1988. 504 с.
8. Кунгурова В.Е., Трухин Ю.П., Степанов В.А., Новаков Р.М. Минеральные разновидности различных типов медно-никелевых руд Камчатской никеленосной провинции // Горно-информационный аналитический бюллетень. М.: ЗАО «Горная книга». 2017. Отдельный выпуск № 32. «Камчатка-5». С. 49–65.

9. Кунгурова В.Е., Трухин Ю.П., Степанов В.А. Сравнительный анализ микрозондовых исследований главных сульфидных минералов руд Камчатской никеленосной провинции // Горно-информационный аналитический бюллетень. М.: ЗАО «Горная книга». 2017. Отдельный выпуск № 32. «Камчатка-5». С. 66–82.

References

1. Kremeneckij A.A., Truhin Yu.P. Otchet «Provedenie kompleksa работ, svyazannyh s geologicheskim izucheniem platinovo-medno-nikelevyh rud v yuzhnoj chasti Dukuskogo nikelenosnogo rudnogo uzla Kvinum-Kuvalorogskoj zony». 2003. Т. I. 331 p.
2. Sidorenko V.I., Selivanov M.T. Legenda Hangarskoj serii listov Gosudarstvennoj geologicheskoy karty Rossijskoj Federacii masshtaba 1: 200 000 (izdanie vtoroje). // Ob'yasnitel'naya zapiska. KPSEH GGP «Kamchatgeologiya», 1998, inv. № 6015.
3. Truhin Yu.P., Stepanov V.A., Sidorov M.D. In Kamchatka Nickel provincia, DOKL. Т. 418. N. 6. 2008. P. 802-805.
4. Truhin Yu.P., Stepanov V.A., Sidorov M.D., Kungurova V.E. Shanuchskoe medno-nikelevoe mestorozhdenie: geologo-geofizicheskaya model', sostav i geohimiya rud // Rudy i metally. 2009. № 5. P. 75–81.
5. Selyangin O.B. K sravnitel'noj petrologii intruzivov severnoj i yuzhnoj zon Kamchatskoj nikelenosnoj provincii. Chast' 1 // Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle. 2014. № 1, vypusk 23. P. 168–185.
6. Mineraly. Spravochnik. Т. I. М.: AN SSSR. 1960. 617 p.
7. Spravochnik: Opredelitel' rudnyh mineralov v otrazhennom svete. М.: Nedra. 1988. 504 p.
8. Kungurova V.E., Truhin Yu.P., Stepanov V.A., Novakov R.M. Mineral'nye raznovidnosti razlichnyh tipov medno-nikelevyh rud Kamchatskoj nikelenosnoj provincii // Gorno-informacionnyj analiticheskij byulleten'. М.: ЗАО «Gornaya kniga». 2017. Otdel'nyj vypusk № 32. «Kamchatka-5». P. 49–65.
9. Kungurova V.E., Truhin Yu.P., Stepanov V.A. Sravnitel'nyj analiz mikrozondivyh issledovaniy glavnyh sul'fidnyh mineralov rud Kamchatskoj nikelenosnoj provincii // Gorno-informacionnyj analiticheskij byulleten'. М.: ЗАО «Gornaya kniga». 2017. Otdel'nyj vypusk № 32. «Kamchatka-5». P. 66–82.

ЧАСТОТА ПЕПЛОПАДОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ИТУРУП (ЮЖНЫЕ КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) В ГОЛОЦЕНЕ: ПО ДАННЫМ РАДИОУГЛЕРОДНОГО ДАТИРОВАНИЯ ТОРФЯНИКА В РАЙОНЕ ОЗЕРА ГНИЛОЕ

Дегтерев Артем Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Российская Федерация, Сахалинская обл., г. Южно-Сахалинск, ул. Науки 1Б, e-mail: d_a88@mail.ru

Рыбин Александр Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Российская Федерация, Сахалинская обл., г. Южно-Сахалинск, ул. Науки 1Б

Петров Алексей Юрьевич, инженер, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Российская Федерация, Ленинградская обл., г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7–9 г.

Представлены результаты тефрохронологических исследований и радиоуглеродного датирования, выполненных для разреза торфяника в районе оз. Гнилое (центральная часть о. Итуруп, Южные Курилы). Всего было идентифицировано 25 визуально различимых прослоев тефры, отложившихся за последние 12620 ± 120 кал.лет (общая частота пеплопадов - 1 за 500 лет). Изучение распределения вулканических событий во времени выявляет увеличение их частоты, начиная со среднего до позднего голоцена. Полученные данные могут быть в дальнейшем использованы при оценке вулканической опасности территории о. Итуруп.

Ключевые слова: Курильские острова, Итуруп, торфяник, тефра, радиоуглеродное датирование

FREQUENCY OF ASHFALL IN THE CENTRAL PART OF ITURUP ISLAND (SOUTHERN KURILES) DURING THE HOLOCENE: ON THE BASIS RADIOCARBON DATING OF PEAT GNILOE LAKE

Degterev Artem V., C.Sc. in Geology and Mineralogy, Senior Researcher, Institute of Marine Geology and Geophysics Far East Branch Russian Academy of Sciences, 1B Nauki st., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin Region, 693022, Russian Federation, e-mail: d_a88@mail.ru