

УДК 549.325.2(234.82)

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О МОЛИБДЕНИТЕ И ЕГО КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ НА ПАЙ-ХОЕ (НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ): МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Р. И. Шайбеков*, С. И. Исаенко, Е. М. Тропников

Представлено академиком РАН А. М. Асхабовым 29.01.2018 г.

Поступило 12.02.2018 г.

Впервые получены данные о пяти коренных источниках молибденита в пределах габбродолеритового комплекса Пай-Хоя (хребет Пай-Хой, Югорский полуостров, Россия). Установлено, что минерал имеет площадное распространение и концентрируется в девонских рудоносных габбродолеритах, в приконтактовых породах и кварцевых жилах. Рассмотрены минералого-геохимические особенности молибденита, характер его локализации, состав вмещающих пород, проведены спектроскопические исследования.

Ключевые слова: молибденит, сульфидные медно-никелевые рудопроявления, роговики, кварцевые жилы, Пай-Хой, Ненецкий автономный округ.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524876663-668>

В пределах габбродолеритового комплекса Пай-Хоя (находящегося в пределах Югорского полуострова, расположенного на крайнем северо-востоке европейской части России, в Архангельской области, между Баренцевым и Карским морями) в настоящее время выделяется несколько сотен интрузивных тел с сульфидной медно-никелевой минерализацией, обрамлённых контактово-метасоматическими породами — роговиками и нередко прорывающими их жилами кварца (+сульфиды) различной мощности.

Первые сведения о молибдените на Пай-Хое относятся к периоду масштабных геолого-съёмочных работ, проводимых в конце 60-х — начале 70-х годов XX столетия. Единственное до настоящего времени упоминание о минералах молибдена отражено в отчёте Жукова и др. [1], где описывается зерно молибденита стально-серого цвета размером $0,1 \times 0,25$ мм в шлиховой пробе № 47 левого притока р. Хей-Яха, берущего начало с рядом расположенного небольшого габбродолеритового тела. Кроме того, в ряде отчётов [1, 2] есть упоминания о ряде комплексных геохимических аномалий в осадочных толщах, обрамляющих хенгурский (центральнопайхойский) габбродолеритовый комплекс с содержанием Мо до 0,002%.

В результате проведённых нами исследований рудной минерализации габбродолеритовых тел Пай-

Хоя были установлены коренные источники молибденита, первые данные о которых приводятся в настоящей работе.

Молибденовая минерализация обнаружена с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega3 LMN, оборудованного EDS-системой микроанализа INCA X-MAX 50 mm фирмы “Oxford Instruments” (напряжение — 20 кВ, сила тока — 15 нА, вакуум — 0,05 Па, диаметр пучка 2 мкм. Эталоны: Te (PbTe), Bi (Bi), Fe, S (FeS₂), Si, O (SiO₂), Na, Al (альбит, природный), Mo (MoS₂)), в четырёх коренных объектах: в рудной зоне Гольцовое (проба 583503), на участке Хенгурский, в пределах безымянного габбродолеритового тела, расположенного в верховье ручьёв Пэсядьяха и Хунортаяха (проба 111P-05-1), и на рудопроявлении Сопчамыльк (проба ЗР-04-2, рудная точка № 5, геохимическая аномалия № 3 [1]), рис. 1. Химический состав молибденитсодержащих пород приведён в табл. 1.

В первом случае молибденит представлен несколькими зёрнами (рис. 2а), два из которых располагаются в матриксе альбита и одно в пирротине с размерами до 24 мкм. Молибденит имеет рыхловатый, листовато-чешуйчатый облик и приурочен к областям, контактирующим с трещинами или карвернами. Из примесей присутствует только железо, вероятнее всего, захватываемое из рядом расположенного пирротина (табл. 2). Во втором случае молибденит выявлен в составе пирротина в виде микроразмерного выделения 4×1 мкм в его пери-

*Институт геологии им. Н.П. Юшкина
Коми научного центра Уральского отделения
Российской Академии наук, Сыктывкар
E-mail: shaybekov@geo.komisc.ru

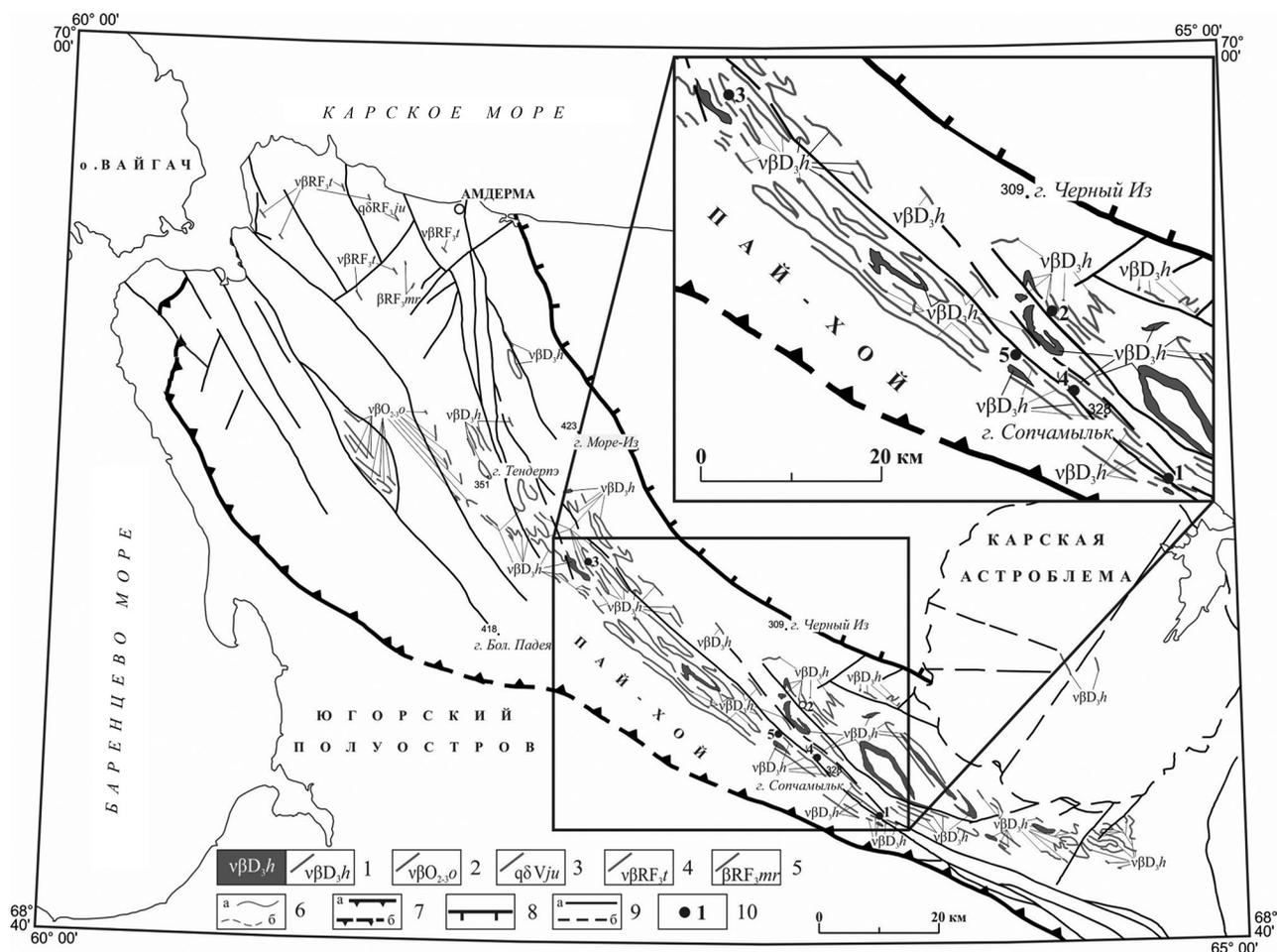


Рис. 1. Карта магматических комплексов Пай-Хоя (фрагмент государственной геологической карты 1:1 000 000 масштаба [3] с дополнениями и исправлениями авторов). 1 — Хенгурский (центрально-пайхойский) комплекс габбро-долеритовый. Габбродолериты, пикродолериты, долериты; 2 — Оюский комплекс габбродолеритовый, гипабиссальный. Силлы и дайки габбродолеритов, долеритов; 3 — Юшарский комплекс. Кварцевые диориты; 4 — Тоинтинский комплекс габбродолеритовый. Долериты, габбродолериты; 5 — Морозовский комплекс осадочно-вулканогенный. Экструзивно-жерловые и субвулканические фашии. Базальты; 6 — геологические границы согласного залегания и интрузивные контакты (а — установленные, б — предполагаемые); 7–9 — разрывные нарушения, выходящие на картографируемую поверхность (а — достоверные, б — предполагаемые): 7 — шарьяжи главные, 8 — надвиги главные, 9 — прочие разломы без разделения по морфокинетическим особенностям; 10 — точки расположения молибденовой минерализации: 1 — 61P-05-1, 2 — 583503, 3 — 111P-05-1, 4 — 3P-04-2, 5 — шлик № 47 [по 1].

ферийной части (рис. 2б, табл. 2). Данное выделение имеет нечёткие границы и отличается от пирротина лишь несколько более светлым обликом. Химический состав неоднородный вследствие оказания влияния матрицы пирротина, альбита и роговой обманки. Кроме того, в нём выделяется яркая область, характеризующаяся высокой концентрацией висмута и незначительной теллура, скорее всего, являющаяся висмутовым сульфотеллуридом (рис. 2б, табл. 2), который довольно часто нами отмечался как включение в кобальтине в составе пирротинов. Из примесей в молибдените обнаружен цинк, вероятнее всего, захватываемый из породообразующих минералов. В целом присутствие на данном

объекте нехарактерной для роговиков минерализации (кобальтин, сульфотеллуриды и теллуриды висмута, теллуrowисмутиты) вызывает повышенный на данном этапе, но минералогический интерес. В третьем случае молибденит отмечен в виде единичного зерна, изометричного, комковатого облика, размером около 4 мкм в сростке с вмещающим его кварцем (рис. 2в). Химический состав данного выделения близок к молибдениту (табл. 2). Кроме молибденита в составе кварцевых жил отмечается большое количество мелких вкраплений редкоземельных минералов.

В четвёртом случае в попытке выделить молибденит из пород и руд рудопроявления Сопчамыльк

Таблица 1. Воздушно-сухая навеска

Компо- нент	Содержание компонентов, %			
	Номер пробы			
	3P-05-2 к/з габбродо- лерит	61P-05-1 роговик	111P-05-1 кварц	583503 с/з габбродо- лерит
SiO ₂	50,22	54,73	98,97	51,09
TiO ₂	0,93	0,51	<0,01	2,39
Al ₂ O ₃	13,00	12,94	<0,1	13,10
Fe ₂ O ₃	1,49	1,55	<0,01	3,24
MnO	0,15	0,07	<0,01	0,10
MgO	8,59	2,78	0,34	6,04
CaO	11,64	16,76	0,16	8,97
Na ₂ O	2,17	1,89	0,01	3,33
K ₂ O	1,02	0,24	0,01	1,40
P ₂ O ₅	0,03	0,12	<0,01	0,16
п.п.п.	3,65	2,58	0,51	3,76
Сумма	100	100	100	100
Fe ₂ O ₃ общ	9,39	7,38	<0,25	10,37
FeO	7,12	5,25	0,25	6,42
H ₂ O ₋	0,36	0,18	0,20	0,56
CO ₂	0,63	0,01	0,17	0,23

Примечание. Данные по определению п.п.п., FeO, H₂O₋ и CO₂ получены химическими методами. Исполнители Е.Ф. Малахова, С.Т. Неверов.

нами был использован минералогический анализ (дробление до +0,25–0,5 мм с делением на фракции, выделение минералов молибдена по бинокулярю). Данная методика позволила выделить одно зерно молибденита (более 1 мм в диаметре) в сростке с кварцем, имеющего листовато-чешуйчатый облик, на поверхности которого отмечаются включения породообразующих минералов, слагающих габбродолериты (рис. 2г, табл. 2).

Используя данные базы guff.info и опубликованные преимущественно зарубежные работы была предпринята попытка диагностировать наиболее крупные выделения молибденита методом рамановской спектроскопии. Регистрация спектров комбинационного рассеяния света (КР) проводилась на спектрометре LabRam HR800 (Horiba Jobin Yvon) в ЦКП “Геонаука” при комнатной температуре. Условия регистрации спектров: решётка монохроматора — 600 ш/мм, конфокальное отверстие 300 мкм, щель 100 мкм, время экспозиции 1–10 с, количество циклов накопления сигнала — 10, мощность возбуждающего излучения Ar⁺-лазера (514,5 нм) составляла 12 мВт. После регистрации спектров комбинационного рассеяния света изученных образцов с помощью свёртки функций Гаусса—Лоренца стандартной программы обработки

спектров LabSpec (5,36) были определены положения максимумов линий спектров. На КР-спектре молибденита из пробы 583503 чётко отражаются 2 сильные линии в областях 382 и 409 см⁻¹ и 2 слабые на 287 и 452 см⁻¹ (рис. 3а). Несмотря на явную схожесть с эталонными (рис. 3б, в), отмечаются отсутствие слабых линий в областях 368 и 394(396) см⁻¹. В результате анализа разноориентированных частиц молибденита пробы 3P-04-2 были получены идентичные спектры по 6 точкам с характерными линиями в областях 385 и 410 см⁻¹ и слабой линии на 454 см⁻¹, фиксируемые отклонения находились в пределах минимально допустимой погрешности. Линия 287 см⁻¹, более ярко выраженная в первой пробе, на данном образце также проявляется, но имеет менее выраженный характер (рис. 3г).

В результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы. Молибденит генетически связан с интрузивными телами основного состава и концентрируется как в самих габбродолеритах, так и в контактово-метасоматических породах и прорывающих интрузии кварцевых жил. Нами наблюдается явный парагенезис молибденита с кварцем или зонами окварцевания, а также разрывными нарушениями. Молибденит характеризуется листовато-чешуйчатым, неправильной формы обликом с содержанием рения ниже предела чувствительности используемого метода (менее 0,3 мас.%).

Согласно существующим данным по рамановской спектроскопии, молибденит содержит четыре активных пика первого порядка, которые характерны для большинства изученных зёрен MoS₂, в частности 286, 383, 408 и 32 см⁻¹ [4]. Молибденит Пай-Хоя характеризуется схожими значениями, различия попадают в допустимые пределы погрешности. Отсутствие же пика первого порядка на отметке 32 см⁻¹ связано прежде всего с тем, что технические характеристики прибора не позволяют определить значения >80 см⁻¹ и автоматически обрезаются программой.

Так как в шлихах молибденит встречается редко и в виде мелких чешуек (что характеризуется исключительно малой твёрдостью и его истиранием и разрушением при перемещении) лишь вблизи коренных источников, явным его источником в шлихе № 47 является близко расположенное габбродолеритовое тело, которое размывается поверхностным водотоком. Таким образом, в пределах габбродолеритового комплекса Пай-Хоя в можно выделить 5 коренных источников молибденита (рис. 1).

Находки молибденита в габбродолеритовых телах Пай-Хоя, контактово-метасоматических породах

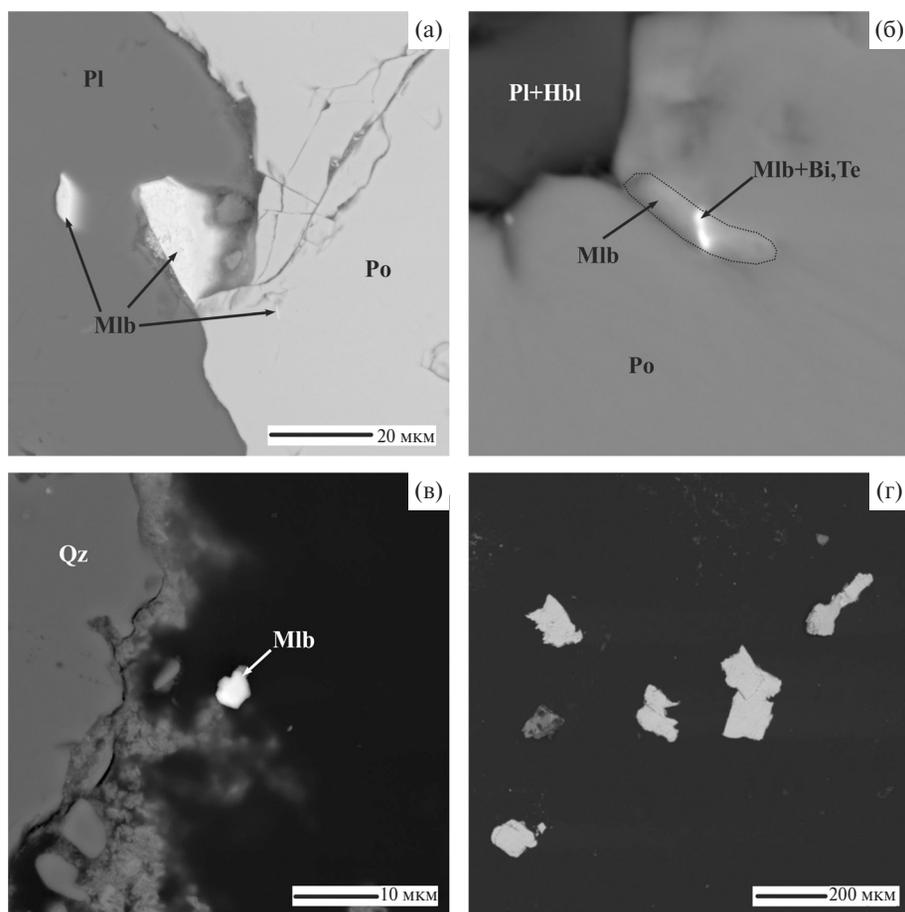


Рис. 2. BSE-изображения молибденовой минерализации: а — в сростках с пирротинином и в матрице плагиоклаза (обр. 583503), б — в сростках с пирротинином (обр. 61P-05-1), в — в кварце (обр. 111P-05-1), г — фрагменты зерна молибденита (светлые) на углеродном скотче (обр. 3P-04-2). Qtz — кварц, Pl — плагиоклаз, Po — пирротин, Mlb — молибденит, Hbl — роговая обманка.

Таблица 2. Химический состав минеральных фаз, мас.%

Характеристика минерала	O	Na	Al	Si	S	Fe	Mo	Te	Bi	Сумма
Точка наблюдения 583503 (рудопоявление Гольцовое), среднезернистый габбродолерит										
Молибденит (в альбите)	N/D	N/D	N/D	N/D	40,74	N/D	59,38	N/D	N/D	100,24
Молибденит (на границе с пирротинином)	N/D	N/D	N/D	N/D	39,94	N/D	58,63	N/D	N/D	98,68
Альбит	48,32	8,14	10,38	32,40	N/D	0,21	N/D	N/D	N/D	99,44
Пирротин	N/D	N/D	N/D	N/D	39,64	62,14	N/D	N/D	N/D	101,79
Проба 61P-05-1 (участок Хенгурский), роговик										
Bi–Te–S (в молибдените)	N/D	N/D	N/D	N/D	15,07	15,46	21,37	2,44	28,38	82,71
Молибденит (в пирротине)	N/D	N/D	N/D	N/D	32,44	23,18	31,77	N/D	N/D	87,39
Пирротин	N/D	N/D	N/D	N/D	38,82	60,73	N/D	N/D	N/D	99,55
Проба 111P-05-3, кварцевая жила										
Кварц	53,36	N/D	N/D	45,86	N/D	0,50	N/D	N/D	N/D	99,73
Молибденит	N/D	N/D	N/D	N/D	40,31	N/D	60,27	N/D	N/D	100,58
Проба 3P-04-2 (рудная точка № 5), крупнозернистый габбродолерит										
Молибденит (10 определений, среднее)	N/D	N/D	N/D	N/D	39,67	N/D	59,72	N/D	N/D	99,38

Примечание. N/D — не обнаружено.

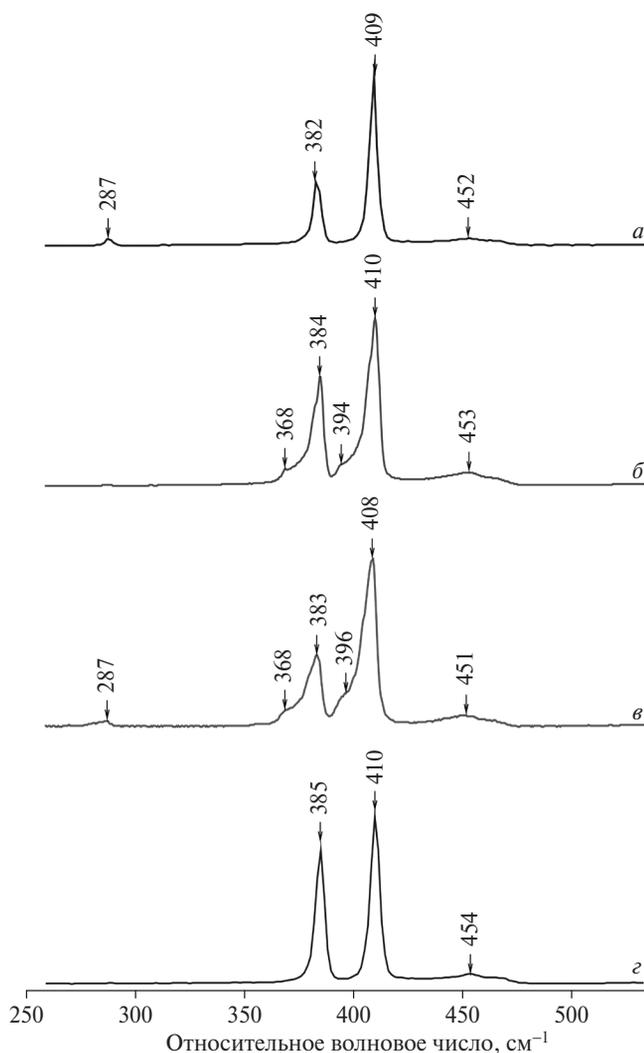


Рис. 3. КР-спектры молибденита: *а* — из рудной зоны Гольцовое (Пай-Хой, проба 583503), *б* — молибденит из шахты Boss Mountain, озеро Хендрикс, Британская Колумбия, Канада (ruff.info, id R050209), *в* — Шахта Crown Point, вблизи от Chelan, Вашингтон, США (ruff.info, id R060124), *г* — из рудной точки № 5 (среднее по 6 спектрам, Пай-Хой, г. Сопчамыльк, проба ЗР-04-2).

и кварцевых жилах Пай-Хоя позволяют по-новому взглянуть на металлогению района и предполагают необходимость дальнейших (комплексных или спе-

циализированных) исследований с целью уточнения параметров распространения, локализации и количественных оценок. По нашим наблюдениям, молибденовая минерализация располагается в местах, контролируемых разрывными нарушениями. Ассоциация молибденита с сульфидными кобальт-медно-никелевыми проявлениями позволяет использовать его для получения возрастных датировок для уточнения времени кристаллизации рудной минерализации.

Источники финансирования. Работа выполнена по теме НИР госзадания (ГР № АААА–А17–117121270036–7) ИГ Коми НЦ УрО РАН при частичной поддержке проекта фундаментальных исследований УрО РАН № 18–5–5–57 (ГР № АААА–А17–117121140076–3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков Ю.В., Заборин О.В., Костюкова Л.А. и др. Геологическое строение листов R-41-115-А, Б; R-41-116-А, Б. Отчёт Сопчинской ГПСП по результатам геолого-поисково-съёмочных работ м-ба 1:50 000 за 1966–1968 гг. Воркута, 1969. 261 с. Инв. № 4053. Коми ТГФ.
2. Жуков Ю.В., Заборин О.В., Маршанский И.И. и др. Геологическое строение территории листов R-41–103-В (в, г), Г (в, г); 104-В (в, г); 116-Г (а, б); 117-А (в, г), Б (в, г), В (а, б), Г (а, б); 118-В (а, б). Отчёт Нялпейской ГПСП по результатам геолого-съёмочных и поисковых работ м-ба 1:50 000 за 1968–1970 гг. Воркута, 1971. 298 с. Инв. № 4285. Коми ТГФ.
3. Шишкин М.А., Шкарубо С.И., Маркина Н.М. и др. Основные итоги создания комплексной государственной геологической карты м-ба 1:1 000 000 (3-е поколение) листа R-41 (Амдерма) // Мат. конференции: Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. Т. II. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. С. 183–185.
4. Windom B.C., Sawyer W.G., Hahn D.W. A Raman Spectroscopic Study of MoS₂ and MoO₃: Applications to Tribological Systems // Tribol. Lett. 2011. P. 301–310. DOI: 10.1007/s11249-011-9774-x.

**FIRST DATA ON MOLYBDENITE AND ITS PRIMARY OREBODY
IN PAY-KHOY (NENETS AUTONOMOUS DISTRICT):
MINERALOGY, GEOCHEMISTRY, RAMAN SPECTROSCOPY**

R. I. Shaybekov, S. I. Isaenko, E. M. Trotnikov

*N.P. Yushkin Institute of Geology, Komi Scientific Center of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS A.M. Askhabov January 29, 2018

Received February 12, 2018

The first data on five primary molybdenite sources within the gabbro-dolerite complex of Pay-Khoy (Pay-Khoy Ridge, Yugra Peninsula, Russia) are presented. The mineral is extended areally in Devonian ore-bearing gabbro-dolerites, contact rocks, and quartz veins. This paper considers the mineralogical–geochemical features of molybdenite, its occurrence, the composition of host rocks, and spectroscopic studies.

Keywords: molybdenite, sulphide copper-nickel ore occurrences, hornfels, quartz veins, Pay-Khoy, Nenets autonomous district.