

УДК 553.062;549.612;549.623.7

Л.И. Марущенко¹

МИНЕРАЛОГИЯ ПРОПИЛИТОВ КРУПНОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕСЧАНКА (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА)²

Au–Mo–Cu-порфировое месторождение Песчанка приурочено к Егдыгкычскому плутону (K₁). На месторождении выделяются три основных типа метасоматитов: кварц-калиевые полевошпат-биотитовые, пропилиты и кварц-серицитовые. Амфиболы пропилитов эволюционируют от раннего магнесиогорнблендита до тремолита–актинолита. Метасоматический калиевый полевой шпат, в отличие от магматического калиевого полевого шпата, обогащен барием (до 7,3 масс.% BaO). Турмалин относится к промежуточным членам ряда «окси-дравит»–повондраит. Содержание Al в хлорите снижается к внешним зонам ореола пропилитизации, что вызвано уменьшением температуры минералообразования.

Ключевые слова: медно-порфировое месторождение, пропилиты, амфибол, хлорит, турмалин.

The Peschanka Au–Mo–Cu porphyry deposit is located in the Egdygkych pluton (K₁). The major types of wallrock alteration are potassic, phyllic and propylitic. Amphibole of propylite has evolved from magnesiohornblende to tremolite-actinolite. In contrast to magmatic potassium feldspar, the metasomatic potassium feldspar contains up to 7,3 wt.% of BaO. Tourmaline can be classified as an intermediate member of the “oxydravite”–povondraite series. Content of Al in chlorite decreases toward the outer part of propylitic aureole testifying to decreasing temperature of crystallization.

Key words: porphyry copper deposit, propylite, amphibole, chlorite, tourmaline.

Введение. Медно-порфировые месторождения — один из главных источников меди в мире. Большинство публикаций об этих объектах посвящено проблемам магматизма, геохронологии, геодинамики. Данные же о минеральном и химическом составе минералов метасоматитов немногочисленны [Бакшеев и др., 2010; Rogacheva, Baksheev, 2010; Milu et al., 2004; Baksheev, 2011].

В настоящее время в России известно два самых крупных подобных объекта — месторождения Аксут в Туве и Песчанка на Чукотке. Первое из них благодаря работам [Берзина и др., 1994, 1999; Сотников и др., 2003] изучено существенно лучше, чем второе. Сведения о месторождении Песчанка фактически ограничиваются работами исследователей из ЦНИГРИ и относятся к 70–90-м гг. прошлого века [Шавкунов, 1973; Каминский, 1989; Шаповалов, 1994]. В связи с возобновлением геолого-разведочных работ на этом месторождении появилась возможность детально изучить метасоматические породы и руды с применением современных методов исследования.

Цель работы — выявление зональности ореола пропилитизации, условий формирования пропилитов на месторождении Песчанка на основе детальной характеристики минеральных ассоциаций и химического состава минералов.

Пропилиты медно-порфировых месторождений в качестве породообразующих минералов содержат

калиевый полевой шпат и альбит, в отличие от стандартных пропилитов плутоногенных и вулканогенных гидротермальных месторождений, где полевой шпат представлен только альбитом. Поэтому в дальнейшем мы будем называть пропилиты месторождения Песчанка калиевыми пропилитами.

В процессе изучения использованы методы оптической и электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа, ICP-MS-анализа.

Геологическое строение месторождения. Au–Mo–Cu-порфировое месторождение Песчанка находится в 250 км на юго-запад от г. Билибино (Чукотский АО), локализовано в восточной части раннемелового крупного полифазного Егдыгкычского плутона, сложенного габбродиоритами и монцодиоритами, которые прорваны телами кварцевых монцодиорит-порфиров. Месторождение контролируется крупным меридиональным правым сдвигом и представляет собой линейный кварц-сульфидный штокверк. Штокверк и ассоциирующие с ним малые порфировые интрузивы, представленные кварцевые монцонит-порфирами и гранодиорит-порфирами, захвачены метасоматическими преобразованиями (биотит-калиевополевошпат-кварцевые и кварц-серицитовые (филлизиты) породы). Эти метасоматиты окружены ореолом пропилитизации. С пострудными разломами связана аргиллизация.

Прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация представлена главным образом пиритом,

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра минералогии, аспирант; e-mail: luba.rogacheva@gmail.com

² Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11–05–00571а) и ООО «ГДК Баимская».

халькопиритом, борнитом. Встречаются также магнетит, галенит, сфалерит, блеклые руды, молибденит, самородное золото. В контурах промышленного оруденения (в рудных телах) содержание меди составляет 0,3–1,2%; золота 0,2–1,2 г/т. Рудная минерализация и метасоматические изменения пород прослежены разведочными скважинами до глубины 700 м. Наиболее богатая борнит-халькопирит-молибденитовая минерализация пространственно связана с биотит-калиевополевошпат-кварцевыми метасоматитами и филлизитами. Зона окисления на месторождении развита до глубины 20 м, а в зонах трещиноватости и дробления по разломам она распространена глубже. Содержание меди в зоне окисления и выщелачивания в среднем в 2–3 раза меньше, чем в гипогенных первичных рудах. Гипергенные минералы представлены гетитом, ярозитом, гематитом, малахитом, азуритом, оксидами марганца [Chitalin et al., 2011; Каминский, 1989].

Методы исследования. Оптические исследования выполнены на кафедре минералогии МГУ с помощью оптического микроскопа «Axioplan Zeiss». Электронно-микроскопические исследования проводили в лаборатории локальных методов исследования вещества геологического факультета МГУ при помощи сканирующего электронного микроскопа «Jeol JSM-6480LV» с волновым («INCA Wave-500») и энергодисперсионным («INCA Energy-350») спектрометрами. Изображения в отраженных электронах получены при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока ~2 нА. Состав минералов изучали энергодисперсионным методом при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока $2 \pm 0,05$ нА. Погрешность измерений для всех элементов от кислорода до железа составляет от 0,08 до 0,12 масс. %.

Формулы амфиболов и хлорита рассчитаны на 13 и 10 катионов, исключая Na, K, Ca, формулы эпидота, калиевого полевого шпата и пренита — на 8 и 5 катионов соответственно, а формула пренита — на 22 отрицательных заряда. Формула турмалина рассчитана на 15 катионов, исключая Na, K, Ca, что предполагает отсутствие вакансий в тетраэдрических и октаэдрических позициях и незначительное содержание Li. Количество H_2O , V_2O_5 в турмалине и содержание H_2O для хлорита, пренита и амфиболов рассчитано по стехиометрии. Количество Fe^{2+} и Fe^{3+} для амфиболов, турмалина и эпидота определено по балансу зарядов.

ICP-MS-анализ выполняли на кафедре геохимии геологического факультета с помощью масс-спектрометра высокого разрешения с ионизацией в индуктивно-связанной плазме «Finnigan Element 2» (аналитик В.В. Пухов) Пробы разлагали по стандартной методике, принятой на кафедре геохимии. Раствор вводили в масс-спектрометр в потоке аргона в виде аэрозоля с последующим детектированием ионов электронным умножителем, сохраняющим линейность в диапазоне $1-1 \cdot 10^{10}$ разрядов в секунду.

Калибровку чувствительности прибора по всей шкале масс осуществляли с помощью стандартных растворов, включающих анализируемые в пробах элементы. Для контроля качества измерений и учета дрейфа чувствительности прибора анализы проб чередовали с анализом стандартного образца с периодичностью 1:10. Пределы обнаружения (ПО) элементов составляли 0,1 г/т. При анализе интенсивность потока каждого иона измеряли 9 раз. Погрешность анализа составляла 1–3 отн. %.

Результаты исследований. Калиевые пропициты — породы темно-зеленого цвета, сложенные эпидотом, альбитом, калиевым полевым шпатом, кварцем, амфиболом, хлоритом, турмалином. В местах скопления эпидота пропициты светло-зеленые. Акцессорные минералы представлены рутилом, сфеном, редко кальцитом, рудные минералы — магнетитом и редко пиритом.

Амфиболы слагают выделения неправильной, часто удлинённой формы. Электронно-микроскопические наблюдения и данные электронно-зондового анализа свидетельствуют, что амфибол пропицитов представлен двумя генерациями. Ранний магнезиогорнблендит замещает первичный магматический диопсид и образует индукционные поверхности совместного роста с эпидотом. Исходный диопсид сохраняется в виде реликтов. Магнезиальность ($\#Mg = Mg / (Mg + Fe^{2+})$) в магнезиогорнблендите варьирует от 0,78 до 0,95, содержание Na — от 0,16 до 0,55 атомов на формульную единицу (а.ф.е.), Ti — от 0,03 до 0,12 а.ф.е., концентрация K достигает 0,08 а.ф.е. (табл. 1). Поздний тремолит-актинолит замещает образованный ранее магнезиогорнблендит, а также магматический пироксен (рис. 1, а). Величина $\#Mg$ минерала составляет 0,60–0,92; количество Ti достигает 0,03 а.ф.е., содержание K и Na находится в пределах 0,04–0,05 и 0,07–0,27 а.ф.е. соответственно. Все амфиболы имеют небольшую примесь марганца (до 0,11 а.ф.е.).

Эпидот представлен отдельными светло-зелеными кристаллами размером до 500 мкм и их агрегатами, которые слагают мономинеральные прожилки мощностью до 0,5 см. Он замещает первичные магматические плагиоклаз, диопсид и амфибол, развивается по плоскостям спайности в биотите, кристаллизуется одновременно с магнезиогорнблендитом, а также встречается в тесных сростаниях с пренитом и кварцем (рис. 1, б). Кристаллы эпидота характеризуются сложной пятнистой зональностью, обусловленной разным содержанием железа. Эпидот, образованный по плагиоклазу, менее железистый ($Fe^{3+} / (Fe^{3+} + Al) = 0,23$), чем эпидот, заместивший амфибол или биотит (0,27) (табл. 2). Содержание Mg (до 0,02 а.ф.е.) и Mn (до 0,02 а.ф.е.) в этом эпидоте также ниже, чем в образованном по амфиболу и биотиту (Mg до 0,03 а.ф.е., Mn до 0,06 а.ф.е.). На рис. 2 приведены графики распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в эпидоте. Оба графика носят линейный, слабодифференцированный характер: отношение La_n / Sm_n

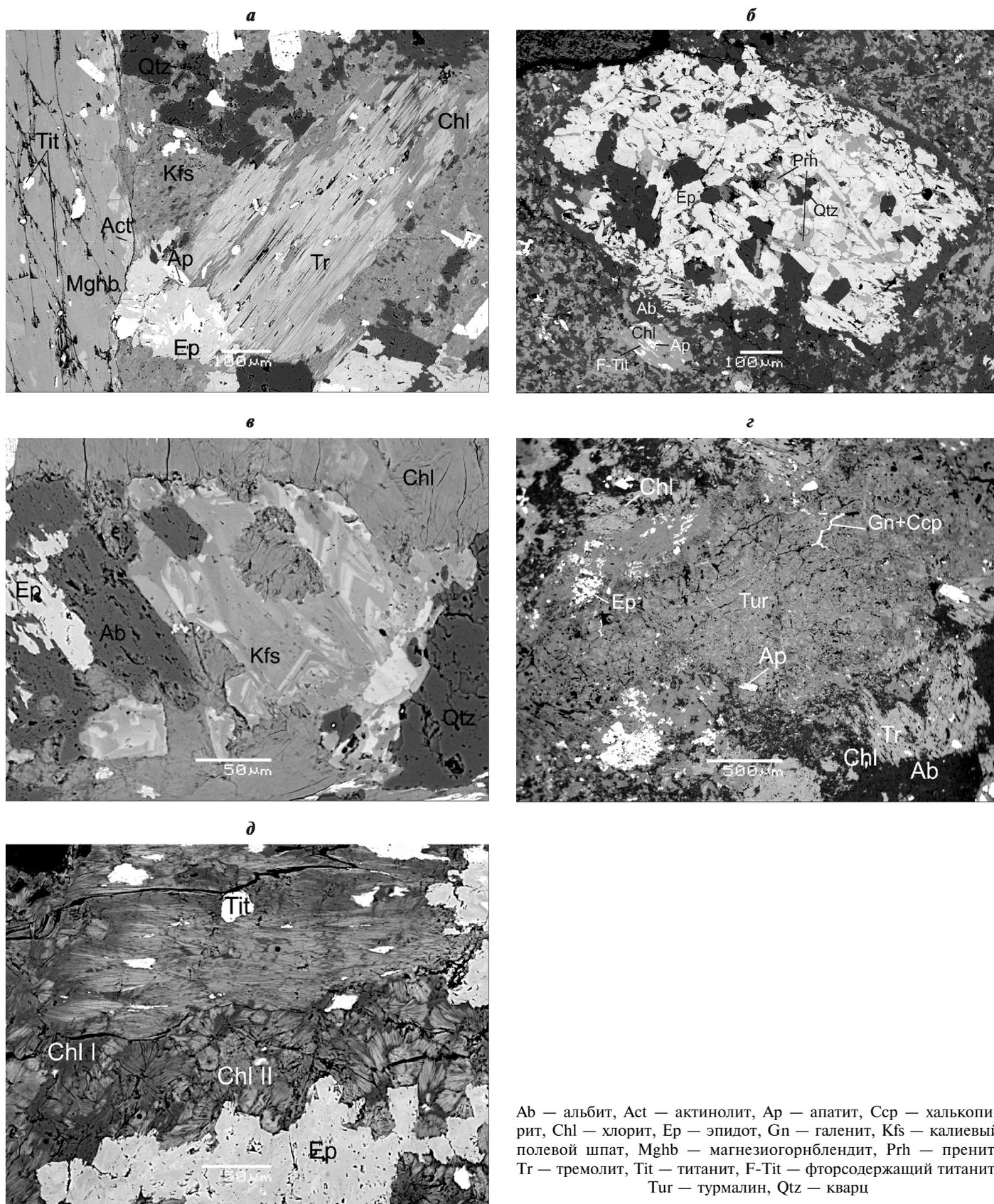


Рис. 1. Минералы пропилитов месторождения Песчанка и их взаимоотношения: *а* — срастание эпидота с магнезиогорнблендитом, последний замещается тремолит-актинолитом, по трещинам в тремолит-актинолите развивается хлорит; *б* — кварц-пренит-эпидотовый агрегат, замещающий вкрапленник первичного магматического плагиоклаза; *в* — зональный кристалл калиевого полевого шпата, светлые зоны обогащены Ва; *г* — агрегат мелких кристаллов турмалина в пропилитах, турмалин рассечен прожилком с галенитом и халькопиритом; *д* — хлорит-эпидотовый агрегат, по трещинам хлорита-I развит хлорит-II. Фото в отраженных электронах

Таблица 1

Химический состав (масс.%) амфиболов из пропилитов месторождения Песчанка (Чукотка)

Компонент	Магнезиогорблендит		Тремолит		Актинолит	
	среднее из 11 анализов	пределы содержания	среднее из 2 анализов	пределы содержания	среднее из 7 анализов	пределы содержания
SiO ₂	51,63	49,13–53,41	55,34	55,05–55,63	52,70	48,71–53,97
TiO ₂	0,56	0,04–1,14	0,08	0–0,16	0,30	0–1,00
Fe ₂ O ₃	7,22	4,60–9,44	4,55	4,50–5,60	3,65	1,53–5,19
Al ₂ O ₃	3,64	2,01–4,95	1,75	1,55–2,57	2,60	1,71–4,88
FeO	4,16	1,55–7,22	3,32	3,23–3,40	8,21	5,04–14,30
MnO	0,52	0,39–0,91	0,28	0,25–0,33	0,84	0,22–2,01
MgO	17,21	16,43–18,22	19,67	19,34–20,00	16,44	14,46–18,78
CaO	11,67	11,0–12,66	12,45	12,43–12,47	12,00	11,01–12,47
Na ₂ O	0,99	0,84–1,17	0,48	0,45–0,51	0,77	0,25–1,76
K ₂ O	0,22	0–0,42	0,15	0,10–0,20	0,12	0–0,25
H ₂ O	2,08	2,04–2,10	2,12	2,07–2,17	2,08	2,06–2,10
Сумма	99,90	99,41–100,19	100,19	99,87–100,75	99,70	99,21–99,98
Формула рассчитана на 13 катионов						
Si	7,294	7,090–7,495	7,633	7,546–7,720	7,630	7,504–7,693
^T Al	0,652	0,430–0,841	0,328	0,254–0,425	0,369	0,284–0,442
^T Fe ³⁺	0,053	0,040–0,102	0,039	0,026–0,040	0,021	0–0,069
Сумма	8	8	8	8	8	7,998–8,001
Al	–	–	–	–	0,006	0–0,060
Fe ³⁺	0,701	0,505–0,956	0,522	0,444–0,600	0,402	0,170–0,509
Ti	0,075	0,030–0,124	0,008	0–0,016	0,018	0–0,034
Mg	3,639	3,163–3,832	4,051	3,952–4,151	3,565	2,704–3,855
Fe ²⁺	0,501	0,188–0,884	0,384	0,375–0,393	0,921	0,651–1,766
Mn	0,073	0,043–0,138	0,034	0,030–0,038	0,093	0,064–0,251
Сумма	4,989	4,987–5,001	5,000	5,000	4,999	4,998–5,004
^B Ca	1,758	1,679–1,854	1,839	1,825–1,853	1,874	1,802–1,958
^B Na	0,242	0,146–0,321	0,129	0,122–0,136	0,126	0,042–0,198
Сумма	2,000	2,000	1,968	1,961–2,000	2,000	2,000
^A Na	0,075	0,013–0,225	–	–	0,034	0–0,074
^A K	0,036	0–0,077	0,027	0,019–0,035	0,021	0–0,046
Сумма	0,111	0,040–0,168	0,019	0,019–0,035	0,055	0–0,119
ОН [–]	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0,873	0,78–0,95	0,92	0,91–0,92	0,79	0,60–0,85

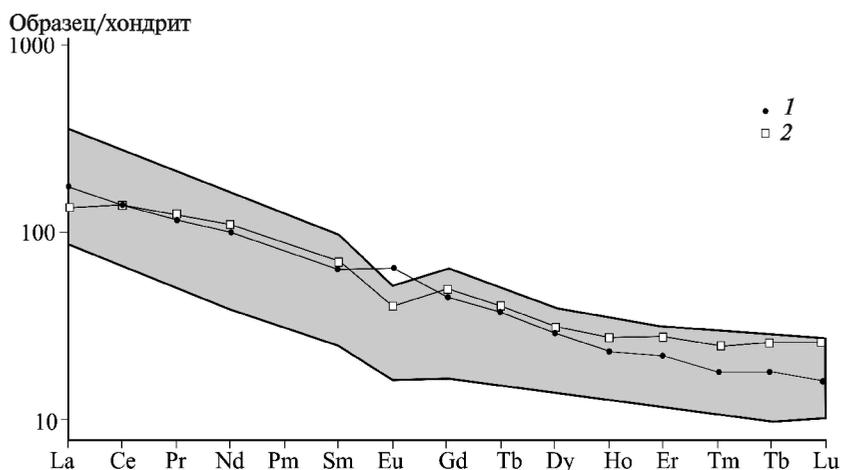


Рис. 2. Нормированные на углистый хондрит спектры распределения РЗЭ в эпидоте пропилитов месторождения Песчанка: 1 — эпидот, образованный по плагиоклазу; 2 — эпидот, образованный по амфиболу. Серая область — распределение РЗЭ в монцититах

Таблица 2

Химический состав (масс.%) эпидотов из пропилов месторождения Песчанка (Чукотка)

Компонент	Эпидот, образованный по плагиоклазу		Эпидот, образованный по биотиту		Эпидот, образованный по амфиболу	
	среднее из 7 анализов	пределы содержания	среднее из 16 анализов	пределы содержания	среднее из 25 анализов	пределы содержания
SiO ₂	38,16	37,98–38,78	37,21	36,75–7,73	37,48	36,76–38,68
TiO ₂	0,08	0–0,38	0,16	0–0,33	0,09	0–0,22
Fe ₂ O ₃ _{общ}	12,17	9,74–14,35	14,53	10,52–16,34	13,62	9,52–16,57
Al ₂ O ₃	24,34	22,31–26,20	22,72	20,54–23,29	22,77	20,42–25,55
MnO _{общ}	0,16	0–0,43	0,37	0,11–0,80	0,45	0,23–0,81
MgO	0,03	0–0,16	0,12	0,05–0,20	0,45	0,23–0,81
CaO	23,23	22,95–23,57	22,59	22,15–23,29	22,82	21,61–23,29
H ₂ O	1,90	1,88–1,91	1,85	1,76–1,90	1,85	1,81–1,89
Сумма	100,07	99,35–100,19	99,55	98,90–100,04	99,53	99,32–100,09
Формула в расчете на 8 катионов						
Si	3,015	2,987–3,034	3,007	2,993–3,028	3,029	2,992–3,065
Al	2,275	2,092–2,425	2,163	1,980–2,362	2,129	1,960–2,397
Fe ²⁺	0,043	0–0,059	0,021	0–0,079	0,027	0–0,100
Fe ³⁺	0,682	0,537–0,819	0,802	0,631–1,009	0,802	0,555–1,016
Mg	0,004	0–0,019	0,014	0,006–0,024	0,018	0,008–0,031
Mn ²⁺	0,011	0–0,023	0,026	0,008–0,054	0,031	0,016–0,055
Ti	0,005	0–0,028	0,010	0–0,020	0,005	0–0,014
Ca	1,966	1,938–1,984	1,956	1,899–2,009	1,959	1,920–2,002
ОН	1,000	1,000	1,000	0,946–1,033	1,001	0,992–1,019
Fe _{общ}	0,725	0,577–0,860	0,823	0,631–1,009	0,829	0,570–1,016
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Al)	0,23	0,18–0,28	0,27	0,20–0,34	0,27	0,19–0,34

и La_n/Yb_n для графиков 1 и 2 составляет 2,75–1,92 и 9,74–5,28 соответственно. Положительная аномалия Eu на графике 1 ($Eu/Eu^*=1,2$) свидетельствует об образовании эпидота по плагиоклазу, а отрицательная аномалия на графике 2 ($Eu/Eu^*=0,7$) указывает на образование эпидота по амфиболу.

Калиевый полевой шпат (кпш) образует тонкие зерна неправильной формы, замещающая магматический кпш, и развивается вместе с альбитом и кварцем. Кроме того, встречаются крупные выделения зонального кпш. Он характеризуется отсутствием структур распада альбита, что указывает на его постмагматическое происхождение, вероятнее всего, в период формирования биотит-калиевополевошпат-кварцевых метасоматитов. На фотографии в отраженных электронах (рис. 1, в) хорошо видна ростовая зональность его кристаллов, выраженная в чередовании темных и светлых зон, что обусловлено разным содержанием Ва (до 0,14 а.ф.е.). Средний химический состав минерала ($n=4$), масс. %: SiO₂ 62,77; Al₂O₃ 19,02; ВаО 3,07; FeO 0,10; СаО 0,05; Na₂O 0,56; K₂O 14,89; формула $K_{0,888}Na_{0,063}Ba_{0,057}Fe_{0,004}Ca_{0,003}Al_{1,054}Si_{2,934}O_8$ (табл. 3).

Пренит, замещающий совместно с кварцем, эпидотом и альбитом первичный магматический плагиоклаз, представлен зернами размером несколько десятков микронов (рис 1, б). Химический состав пренита приведен в табл. 3. В минерале от-

Таблица 3

Химический состав (масс.%) калиевого полевого шпата и пренита из пропилов месторождения Песчанка (Чукотка)

Компонент	Калиевый полевой шпат		Пренит	
	среднее из 4 анализов	пределы содержания	среднее из 3 анализов	пределы содержания
SiO ₂	62,77	59,42–64,77	44,21	44,07–44,30
Al ₂ O ₃	19,02	18,71–19,74	23,37	23,27–23,46
BaO	3,07	0,48–7,34	–	
FeO	0,10	0–0,18	1,39	1,31–1,45
CaO	0,05	0–0,05	25,83	25,62–26,04
Na ₂ O	0,56	0,43–0,68		
K ₂ O	14,89	13,13–16,14	0,19	0,13–1,27
H ₂ O			4,25	4,22–4,29
Сумма	100,39	100–100,78	99,27	99,18–99,34
Формула в расчете на				
5 катионов			22 отрицательных заряда	
Si	2,934	2,861–2,976	3,063	3,057–3,075
Al	1,054	1,020–1,117	1,907	1,903–1,919
Ba	0,057	0,009–0,139		
Fe	0,004	0–0,007	0,080	0,076–0,084
Ca	0,003	0–0,003	1,919	1,906–1,936
Na	0,063	0,050–0,074		
K	0,888	0,808–0,946	0,120	0,012–0,024
ОН			1,970	1,95–1,97
O			0,030	0,010–0,050

Таблица 4

Химический состав (масс.%) клинохлора из пропилитов месторождения Песчанка (Чукотка)

Компонент	Внутренняя зона ореола				Внешняя зона ореола	
	I генерация		II генерация		I генерация	
	среднее из 11 анализов	пределы содержания	среднее из 6 анализов	пределы содержания	среднее из 6 анализов	пределы содержания
SiO ₂	29,05	28,56–29,48	27,82	27,99–28,98	29,73	29,36–30,24
TiO ₂	0,06	0,03–0,07	0,04	0,00–0,25	0,02	0–0,11
Al ₂ O ₃	18,75	18,34–19,25	19,15	18,30–19,28	18,51	17,43–19,15
ZnO	0,14	0,07–0,17	0,04	0–0,15	0,09	0,00–0,24
FeO	16,50	16,01–16,97	19,32	16,61–20,55	14,49	12,55–16,34
MnO	0,85	0,75–1,03	1,39	1,04–1,85	1,61	1,01–2,75
MgO	21,93	21,51–22,64	19,51	18,34–21,39	22,82	21,85–24,48
CaO	0,12	0,06–0,18	0,10	0–0,20	0,11	0–0,29
Na ₂ O	0,23	0,18–0,32	0,25	0,19–0,29	0,18	0–0,034
H ₂ O	11,44	11,08–11,98	11,13	11,08–11,32	11,81	11,33–12,24
Сумма	99,10	98,78–99,32	98,48	98,43–100,18	99,52	99,14–100,01
Формула рассчитана 10 катионов						
Si	2,927	2,876–2,969	2,880	2,824–2,972	2,953	2,898–3,060
Al ^{IV}	1,143	1,103–1,202	1,148	1,079–1,244	1,089	0,977–1,151
Mg	3,337	3,271–3,374	2,982	2,831–3,270	3,474	3,323–3,698
Al ^{VI}	1,100	1,084–1,147	1,167	1,118–1,214	1,102	1,004–1,177
Ca	0,013	0,006–0,020	0,011	0–0,022	0,008	0–0,032
Ti	0,004	0,003–0,006	0,004	0–0,020	0,001	0–0,009
Fe	1,412	1,374–1,443	1,657	1,425–1,780	1,260	1,053–1,474
Zn	0,016	0,005–0,022	0,007	0–0,019	0,006	0–0,020
Mn	0,074	0,065–0,088	0,121	0,091–0,162	0,113	0,027–0,237
Na	0,047	0,036–0,065	0,050	0,038–0,057	0,034	0–0,067
ОН	7,796	7,748–7,870	7,904	7,749–8,000	7,846	7,742–8,000
O	0,102	0,065–0,126	0,051	0–0,126	0,077	0–0,129
Al _{общ}	2,243	2,199–2,308	2,315	2,212–2,402	2,191	2,071–2,280
Fe _{общ} /(Fe _{общ} +Mg)	0,30	0,29–0,30	0,36	0,30–0,39	0,27	0,22–0,30

мечается небольшая примесь Fe (0,07–0,08 а.ф.е.) и К (0,01–0,02 а.ф.е.).

Турмалин образует сферолитоподобные агрегаты темно-зеленых мелких (несколько десятков микронов) кристаллов. Минерал плеохроирует от светло- до темно-зеленого. По трещинам в агрегате развиваются прожилки, сложенные кпш, хлоритом и кварцем с рудной минерализацией (рис. 1, з), что свидетельствует о дорудном происхождении турмалина. В результате электронно-микроскопических исследований выявлена сложная гетерогенная зональность отдельных кристаллов турмалина, связанную с незакономерным распределением железа. Железистость $[Fe = Fe_{общ} / (Fe_{общ} + Mg)]$ турмалина варьирует от 0,35 до 0,59, отношение $[Ca = Ca / (Ca + Na)]$ находится в пределах 0,14–0,33. Средний химический состав минерала (n=10), масс. %: B₂O₃ 10,77; SiO₂ 34,94; TiO₂ 0,52; V₂O₃ 0,06; Al₂O₃ 26,73; FeO_{общ} 12,30; MgO 7,67; CaO 1,37; K₂O 0,03; Na₂O 2,12; F 0,07; H₂O 3,68; 2F=O — 0,03; сумма 100,23; формула $(Na_{0,696}Ca_{0,249}□_{0,051}K_{0,006})_1(Mg_{1,690}Fe^{2+}_{1,244}Ti_{0,006})_3(Al_{5,250}Fe^{3+}_{0,497}Mg_{0,246}V_{0,008})_6[Si_{5,819}Al_{0,181}O_{18}](BO_3)_3(OH)_3(OH_{0,963}F_{0,037})_1$.

Хлорит встречается во внешней и внутренней зонах ореола пропитизации. Он образует крупные пластины (хлорит-I) размером до нескольких сотен микронов, замещающие биотит, магнезиогорнблендит, а также тремолит–актинолит (рис. 1, а, д) и сферолитоподобные агрегаты (хлорит-II) диаметром до 50 мкм. Независимо от генерации хлорит плеохроирует от светло- до темно-зеленого.

Хлорит-I из внутренней зоны ореола пропитизации характеризуется низкой железистостью ($Fe = Fe_{общ} / (Fe_{общ} + Mg)$ 0,30). Количество Al в минерале варьирует от 2,20 до 2,31 а.ф.е. Содержание элементов примесей составляет (а.ф.е.): Mn 0,07–0,09; Na 0,04–0,07; Zn до 0,02. Для хлорита-I из внешней зоны ореола отмечены широкие вариации содержания (а.ф.е.) алюминия (2,07–2,28), марганца (0,03–0,24) и железистости (0,22–0,30). Концентрация Na и Zn, как и в хлорите из внутренней зоны, не превышает 0,07 и 0,02 а.ф.е. соответственно (табл. 4). Хлорит-II, развивающийся по хлориту-I представлен зональными пластинами. Содержание Al варьирует от 2,21 до 2,40 а.ф.е., Na — от 0,04 до 0,06 а.ф.е., Mn от 0,09 до

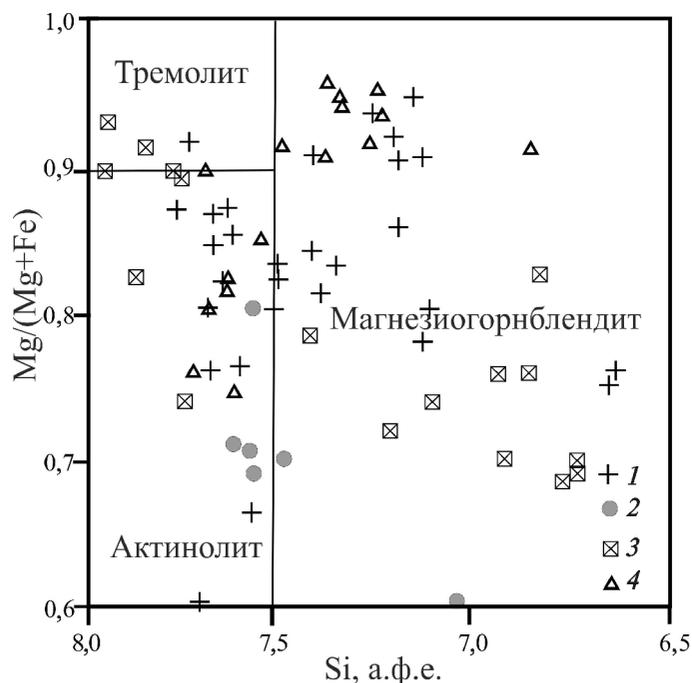


Рис. 3. Классификационная диаграмма, по [Leak et al., 2004], амфиболов из пропилитов гидротермальных месторождений: 1 — Песчанка; 2 — Ветка, по [Бакшеев и др., 2010]; 3 — Шабровское, по [Бакшеев и др., 2006]; 4 — Ольховка, по [Rogacheva, Baksheev, 2010]

0,16 а.ф.е. и Zn до 0,02 а.ф.е., Fe находится в пределах 0,30–0,39 (табл. 4).

Обсуждение результатов исследований. Минералы группы амфибола из пропилитов месторождения Песчанка эволюционируют от магнезиогорнблендита, который замещает первичный магматический диопсид, до тремолита—актинолита. Подобное изменение химического состава амфиболов характерно для гидротермального процесса [Бакшеев и др., 2006] и отмечено для калиевых пропилитов других медно-порфировых месторождений [Бакшеев и др., 2010;

Rogacheva, Baksheev, 2010] и натровых пропилитов иных типов гидротермальных месторождений (рис. 3). Повышенное содержание Na и Al в актинолите пропилитов месторождения Песчанка свидетельствует об относительно высокой температуре образования минерала [Жариков и др., 1998].

Эпидот пропилитов рассматриваемого месторождения похож по химическому составу на эпидот пропилитов из месторождений Ветка на Чукотке [Бакшеев и др., 2010] и Пангуна (Папуа — Новая Гвинея) [Ford, 1978]. Спектры распределения РЗЭ в изученных пробах эпидота соответствуют спектрам распределения РЗЭ в монцодиоритах [Лучицкая и др., 2010]. Эти данные свидетельствуют о том, что при формировании пропилитов месторождения Песчанка основным источником вещества служили минералы замещаемых пород, а не гидротермальный раствор.

Изученные хлориты по классификации [Bailey, 1980] относятся к клинохлору (рис. 4, а), что соответствует составу хлоритов из пропилитов, описанных ранее на месторождениях (рис. 4, б) Ольховка [Rogacheva, Baksheev, 2010], Рошиа Поэни [Milu et al., 2004], Тертиори Марония [Melfos et al., 2002], Ветка [Бакшеев и др., 2010]. На рис. 4, а нанесены хлориты пропилитов и заштрихованной областью показаны хлориты филлизитов. Хлориты пропилитов отличаются от хлоритов филлизитов более низким значением Fe и большим содержанием Si. Таким образом, состав хлоритов служит индикатором типа метасоматических изменений на месторождении Песчанка.

Уменьшение содержания Al в тетраэдрической позиции в клинохлоре-I от внутренней части ореола пропилитизации к внешней указывает на снижение температуры формирования минерала и, следовательно, метасоматитов. Похожая зональность отмечена для метасоматитов березит-лиственитовой формации плутоногенных золоторудных месторождений Казахстана [Спиридонов, 1991].

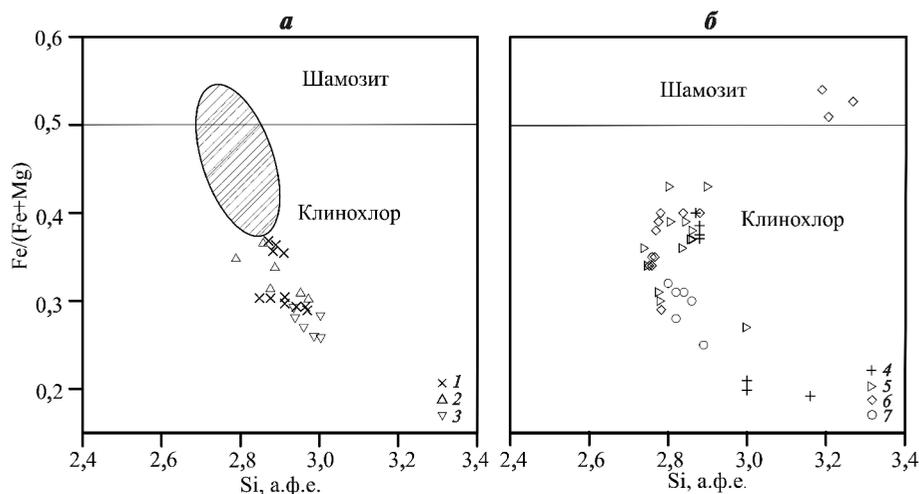


Рис. 4. Классификационная диаграмма, по [Bailey, 1980], для хлоритов: а — месторождения Песчанка; б — медно-порфировых месторождений мира: 1 — хлорит-I, внутренняя зона ореола пропилитизации; 2 — хлорит-II, развитый по хлориту-I; 3 — хлорит-I, внешняя зона пропилитизации; 4 — Рошиа Поэни, по [Milu et al., 2004]; 5 — Ольховка, по [Rogacheva, Baksheev, 2010]; 6 — Ветка, по [Бакшеев и др., 2010]; 7 — Марония, по [Melfos et al., 2002]. Заштрихована область хлоритов из филлизитов месторождения Песчанка

Согласно классификации, предложенной в работе [Henry et al., 2011], изученный турмалин можно классифицировать как промежуточный член ряда «окси-дравит»–повондраит. На рис. 5 хорошо видно, что ведущим типом изоморфных замещений в минерале является $Fe^{3+} \rightarrow Al$. По данным работ [Бакшеев и др., 2010; Yavuz et al., 1999], для турмалинов из пропицитов медно-порфировых месторождений изоморфизм $Fe^{3+} \rightarrow Al$ — ведущий и предполагает значительное содержание Fe^{3+} , что указывает на окислительные условия кристаллизации минерала.

Наличие эпидота и существенное содержание Fe^{3+} в турмалине из пропицитов указывают на высокую активность кислорода среды минералообразования.

Заключение. Установлена эволюция составов амфиболов пропицитов от раннего магнезигорн-блендита, заместившего первичный пироксен к тремолиту–актинолиту. Выявлено, что наличие Ва (до 7,3 масс.% ВаО) в калиевом полевом шпате и отсутствие в нем ламелл распада свидетельствуют о его гидротермальном происхождении. Показано, что химический состав хлоритов служит индикатором типа метасоматических изменений и зональности ореола пропицитизации. Турмалин относится к промежуточным членам ряда «окси-дравит»–повондраит, главный тип изоморфизма — $Fe^{3+} \rightarrow Al$, что предполагает значительное содержание Fe^{3+} . Пропициты

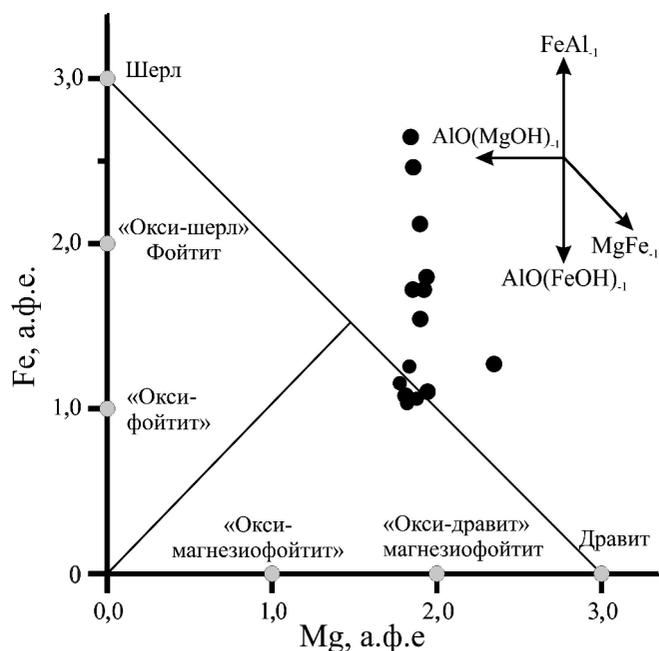


Рис. 5. Соотношение $Fe_{общ}$ и Mg в турмалине из пропицитов месторождения Песчанка

формировались при повышенной активности кислорода. Основным источником вещества служили исходные монцонитоиды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бакшеев И.А., Сазонов В.Н., Устинов В.И. и др. Генезис Шабровского месторождения талькового камня (Средний Урал) по минералогическим данным и данным изучения флюидных включений и стабильных изотопов // Уральская минерал. школа—2006. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. С. 14–32.

Бакшеев И.А., Читалин А. Ф., Япаскурт В.О. и др. Турмалиновая минерализация молибден-медно-порфирового рудопроявления Ветка (Чукотка) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2010. № 1. С. 27–38

Берзина А.П., Сотников В.И., Берзина А.Н., Гимон В.О. Особенности магматизма медно-молибденовых месторождений разных геодинамических обстановок // Геол. Геофиз. 1994. Т. 35, № 7–8. С. 235–251.

Берзина А.П., Сотников В.И., Берзина А.Н., Гимон В.О. Геохимическая специфика Cu–Mo-порфировых магматических центров развития циклов развития Центрально-Азиатского подвижного пояса (на примере Сибири и Монголии) // Геохимия. 1999. № 11. С. 1151–1164.

Жариков В.А., Русинов В.Л., Маракушев А.А. и др. Метасоматизм и метасоматические породы. М.: Научный мир, 1998. 492 с.

Каминский В.Г. Комплексная геолого-поисковая модель медно-порфирового месторождения Баимской зоны // Сов. геология. 1989. № 11. С. 46–56.

Луцицкая М.В., Соколов С.Д., Бондаренко Г.Е., Катков С.М. Состав и геодинамическая обстановка гранитоидного магматизма Алярмаутского поднятия (Западная Чукотка) // Геохимия. 2010. № 9. С. 946–971.

Сотников В.И., Пономарчук В.А., Шевченко Д.О., Берзина А.Н. Аксугское Cu–Mo-порфировое месторождение в Северо-Восточной Туве: $^{40}Ar/^{39}Ar$ геохронология,

источники вещества // Геол. Геофиз. 2003. Т. 44, № 11. С. 1119–1132.

Спиридонов Э.М. Закономерность формирования и размещения плутоногенных месторождений золота в северной части Центрального Казахстана: Автореф. дисс. (в форме научного доклада) М., 1991.

Шавкунов Б.Н. Использование геофизических и геохимических данных для оконтуривания рудных полей в пределах Баимского золотоносного узла // Зап. Забайкал. фил. Геогр. об-ва СССР. 1973. Вып. 88. С. 23–35.

Шаповалов В.С. Признаки единой РМС на примере сложноформационного оруденения (Западная Чукотка) // Проблемы рудно-формационного анализа и поисковой минералогии на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. С. 73–82.

Bailey S.W. Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee // Amer. Mineral. 1980. Vol. 65. P. 1–7.

Bakshiev I. Tourmaline of the porphyry-style deposits // Proc. 11th SGA Biennial Meeting, 26–29th September 2011. Chile, Antofagasta: Univer. Catolica Norte, 2011. P. 391–392.

Chitalin A., Shtengelov A., Agapitov D. et al. Geology and mineral resources of the giant Peschanka porphyry Cu–Au–Mo deposit, Western Chukotka, Russia // Proc. 11th SGA Biennial Meeting, 26–29th September 2011. Chile, Antofagasta: Univer. Catolica Norte, 2011. P. 263–264.

Ford J.H. A chemical Study of alteration at the Panguna porphyry–copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea // Econ. Geol. 1978. Vol. 73. P. 703–720.

Frei D., Liebscher A., Franz G., Dulski P. Trace Element geochemistry of epidote minerals // Rev. in Mineralogy & Geochem. 2004. Vol. 56. P. 553–605.

Henry D.J., Novak M., Hawthorne F.C. et al. Nomenclature of the tourmaline-super-group minerals // *Amer. Mineral.* 2011. Vol. 96. P. 895–913.

Leak B.E., Mogessie A., Ettinger K. Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International mineralogical association's amphibole nomenclature // *Mineral. Mag.* 2004. Vol. 68. P. 209–215.

Melfos V., Vavelidis M., Christofides G., Seidel E. Origin and evolution of the Tertiary Maronia porphyry copper-molybdenum deposit, Thrace, Greece // *Mineral. Dep.* 2002. Vol. 37. P. 648–668.

Milu V., Milesi J.P., Leroy J.L. Rosia Poieni copper deposit, Apuseni Mountains, Romania: Advanced argillic overprint of a porphyry system // *Mineral. Dep.* 2004. Vol. 39. P. 173–188.

Rogacheva L.I., Baksheev I.A. Mineralogy of metasomatic rock and geochronology of the Olhovka porphyry copper deposit, Chukotka, Russia // 33rd Annual General Meeting. 2010. Scotland. P. 39–40.

Yavuz F., Iskenderlu A., Jiang S.Y. Tourmaline compositions from the Salikvan porphyry Cu-Mo deposit and vicinity, northeastern Turkey // *Canad. Mineral.* 1999. Vol. 37. P. 1007–1023.

Поступила в редакцию
12.05.2012