

**ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И ПЛАТИНОИДНАЯ
МИНЕРАЛИЗАЦИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ КВИНУМСКОГО
РУДНОГО ПОЛЯ СРЕДИННОГО ХРЕБТА КАМЧАТКИ**

И.А. Тарарин¹, В.М. Чубаров², Е.К. Игнатьев³, С.В. Москалева²

¹*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

³*ООО “Амур Минералс”, г. Владивосток*

Для медно-никелевых рудопроявлений Квинум-1 и Квинум-2 Квинумского рудного поля, относящихся к наиболее перспективным объектам на медно-никелево-платиноидное оруденение Срединного хребта Камчатки, приведены детальные данные по геологии, минералогии вмещающих метаморфических пород, минералогии сульфидных руд и по распределению в рудах платиноидной минерализации.

Установлено, что прожилково-вкрапленные и сплошные медно-никелевые руды приурочены к амфиболовым перидотитам – кортландитам, образуя в расслоенных кортландит-габброидных массивах невыдержанные по простиранию рудные залежи прожилково-вкрапленных и массивных руд мощностью от первых десятков сантиметров до 5–20 м. Сплошные сульфидные руды обнаружены только в донных частях кортландитовых тел, сменяясь вверх по разрезу прожилково-вкрапленными и вкрапленными рудами. Показано, что главными рудными минералами рудных залежей являются пирротин, халькопирит и пентландит при резко подчиненном количестве пирита, сфалерита, галенита, арсенопирита и лёллингита. Кроме пентландита, к никельсодержащим минералам руд принадлежат сульфоарсениды (герсдорфит), арсениды (никелин) и теллуриды (мелонит) никеля. Установлено, что платиноидная минерализация, представленная антимонидами (садбериит) и теллуровисмутидами (майченерит) палладия, количественно преобладающими в медно-никелевых рудах при резко подчиненном развитии арсенида платины (сперрилита), приурочена к апикальным частям залежей сплошных сульфидных руд и зоне перехода в прожилково-вкрапленные руды. Рудные интервалы, обогащенные арсенидами и теллуридами никеля, палладия и висмута, содержат высокопробное самородное золото. Предполагается, что концентрация главных сульфидных минералов и продуктивность платиноидной минерализации рудных залежей в кортландитах обусловлена сложными процессами магматической дифференциации и сульфуризации дифференциатов ультраосновной магмы под воздействием флюидов, концентрирующихся на фронте кристаллизации массивов и вызывающих расслоение исходных магм с различным содержанием в них серы. Следствием расслоения базит-гипербазитовых массивов под флюидным воздействием является и контрастное разделение платиновых металлов, отражающее неравномерность распределения серы (а также мышьяка, теллура и висмута) в процессе расслаивания расплавов. Продуктивность платиновой минерализации значительно увеличивается с повышением во флюидах, обуславливающих в интрузивах развитие жидкостной несмесимости, роли серы, мышьяка, теллура и висмута, к которым платина и особенно палладий имеют высокое химическое родство.

***Ключевые слова:* медно-никелево-платиноидная минерализация, рудопроявления, кортландиты, метаморфические породы, поздний мел, Срединный хребет, Камчатка.**

ВВЕДЕНИЕ

На восточном побережье Азии широким распространением пользуются сульфидные месторождения и рудопроявления медно-никелевых руд, приуроченные к своеобразным амфиболовым перидотитам – кортландитам, породам, недосыщенным кальцием и

глиноземом [4, 21]. Их спецификой является обилие тел богатых медно-никелевых руд, размеры которых иногда соизмеримы с размерами кортландитовых массивов. Рудоносные массивы обычно представлены рядами мелких даек и силлов, нередко обнаруживающих признаки расслоения на базитовую и гипер-

базитовую части, и характеризуются интенсивной автометасоматической амфиболитизацией. Месторождения и рудопоявления, связанные с кортландитами, широко представлены в Северной Корее, Китае, на Филиппинах и в Приморье. Детальные геологические исследования показали, что Камчатка является одной из перспективных никеленосных провинций России [16, 17, 21, 24].

В Срединном хребте Камчатки выявлены многочисленные небольшие базит-гипербазитовые тела габбро-кортландитовой [22] или перидотит-пироксенит-норитовой [16] формаций, сопровождаемые сульфидными рудопоявлениями комплексных медно-никелевых с платиноидами руд. Среди сульфидных медно-никелевых рудопоявлений Срединного хребта выделено несколько рудных полей: Шануч-

кое, Дукукское, Кувалорогское и Квинумское. Наиболее перспективными на промышленное медно-никелевое с платиноидами оруденение являются Шанучское и Квинумское рудные поля [3, 16, 20, 21, 24].

Квинумское рудное поле расположено в южной части Срединного хребта на левобережье р. Квинум и занимает площадь порядка 100 кв. км [3, 5, 16, 20, 24]. Здесь закартировано около 20 небольших массивов кортландит-габброидного состава мощностью от первых до 200 метров. С пятью массивами связано сульфидное медно-никелевое оруденение: рудопоявления Квинум-1, Квинум-2, Тундровое, Кортландитовое и Ясное. В статье впервые суммированы новые данные по геологии и минералогии рудопоявлений Квинум-1 и Квинум-2 и охарактеризована зональность сопутствующей платиноидной минерализации рудных тел (рис. 1).

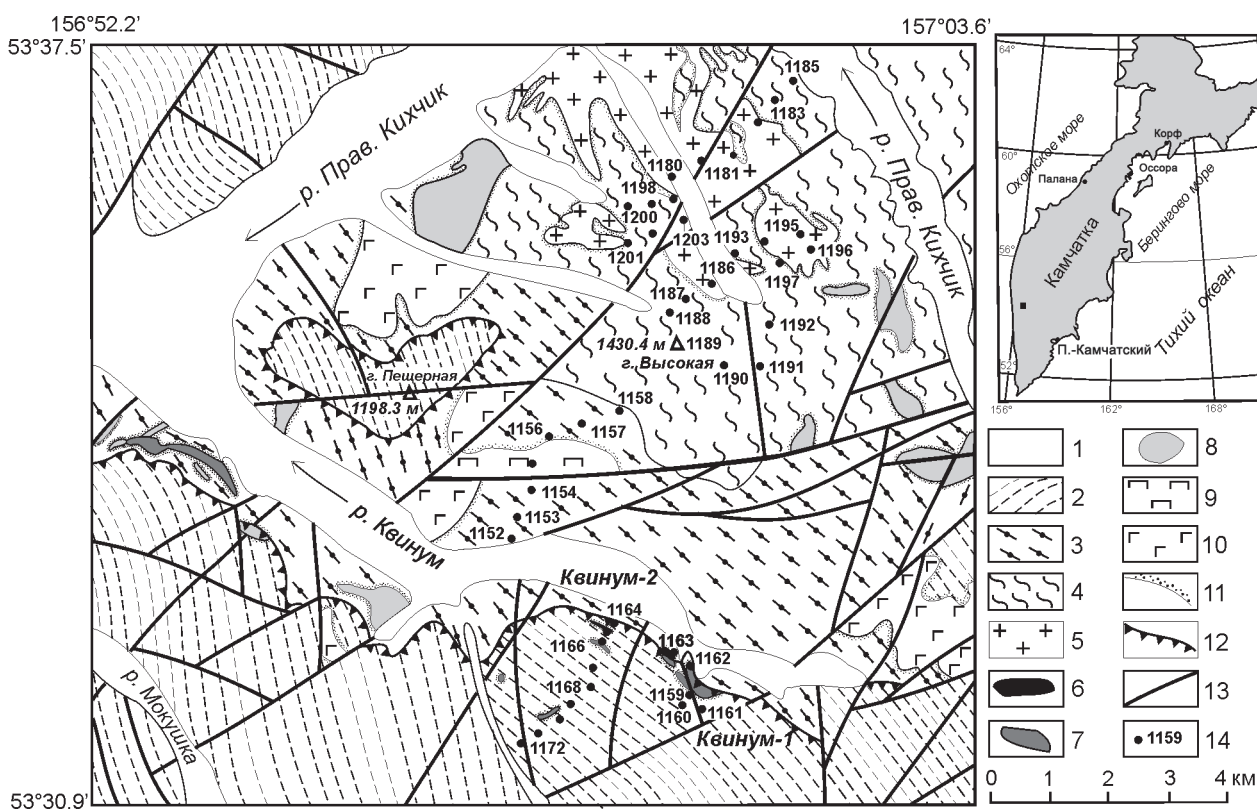


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Квинумского рудного поля юга Срединного хребта (составлена по материалам В.И.Сидоренко). На врезке – местоположение Квинумского рудного поля (черный квадрат).

1 – современные аллювиально-делювиальные отложения; 2–4 – позднемезозойские метаморфические образования (сверху вниз): 2 – хейванская свита – гранат-слюдистые-андалузит кристаллические сланцы, филлиты и слюдистые метапесчаники; 3 – камчатская серия (шихтинская свита) – андалузит-гранат-слюдистые кристаллические сланцы с редкими прослоями амфиболовых сланцев; 4 – колпаковская серия – кианит-гранат-слюдистые плаггиогнейсы и кристаллические сланцы, мигматизированные плаггиогнейсы, мигматиты, амфиболиты и гранатовые амфиболиты; 5–10 – интрузивные образования: 5 – крутогоровский комплекс (?) – гнейсированные тоналиты, гранодиориты, реже трондьемиты; 6–7 – дукукский комплекс: 6 – кортландиты, горнблендиты, 7 – габбро, габбронориты, габбродиориты; 8 – кольский комплекс – гранодиориты, тоналиты, плаггиограниты, трондьемиты; 9–10 – алисторский комплекс: 9 – метапикриты, 10 – метадолериты, метабазальты; 11 – контактовые роговики; 12 – надвиги; 13 – разломы; 14 – точки наблюдения.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ

Кортландит-габброидные интрузивы, принадлежащие к дукукскому интрузивному комплексу позднего мела, являются возрастными аналогами андриановской свиты Срединного хребта и прорывают богатые органикой апотерригенные метаморфические образования колпаковской и камчатской серий и хейванской свиты малкинской серии позднего мезозоя [5, 18]. Обилие содержащих органику ксенолитов в породах массивов обуславливает широкое развитие в них графита и незначительную окисленность железа в породообразующих минералах.

Породы хейванской свиты, залегающие в верхней части метаморфического разреза изученного района (рис. 1), представлены гранат-слюдистыми (\pm ставролит) и андалузит-гранат-слюдистыми кристаллическими сланцами, сменяющимися вверх по разрезу филлитами и слюдястыми песчаниками (рис. 2), свидетельствуя о снижении степени метаморфизма от ам-

фиболитовой ($T=520-580^{\circ}\text{C}$, $P_s=1.4-3.3$ кбар, табл. 1) до биотит-мусковитовой и мусковит-хлоритовой субфаций зеленосланцевой фации. Для отложений свиты характерно тонкое рассланцевание, причем направление сланцеватости и слоистости не совпадает, образуя между собой угол до $30-40$ и более градусов. В бассейне р. Квинум первичная слоистость осадочных пород ориентирована в субширотном направлении, на нее наложено интенсивное рассланцевание северо-западного простирания. Несовпадение направлений слоистости и наложенного рассланцевания обуславливают широкое развитие в породах мелких складок, микро- и макробудинажа, многочисленных срывов пластов, особенно характерных для апопсаммитовых разновидностей пород. Породы свиты содержат огромное количество кварцевых жил, линз и обособлений, ориентированных в основном по сланцеватости и так же, как и вмещающие их породы, разбитых на отдельные линзы и блоки, подчеркивая характер дислокационных структур.

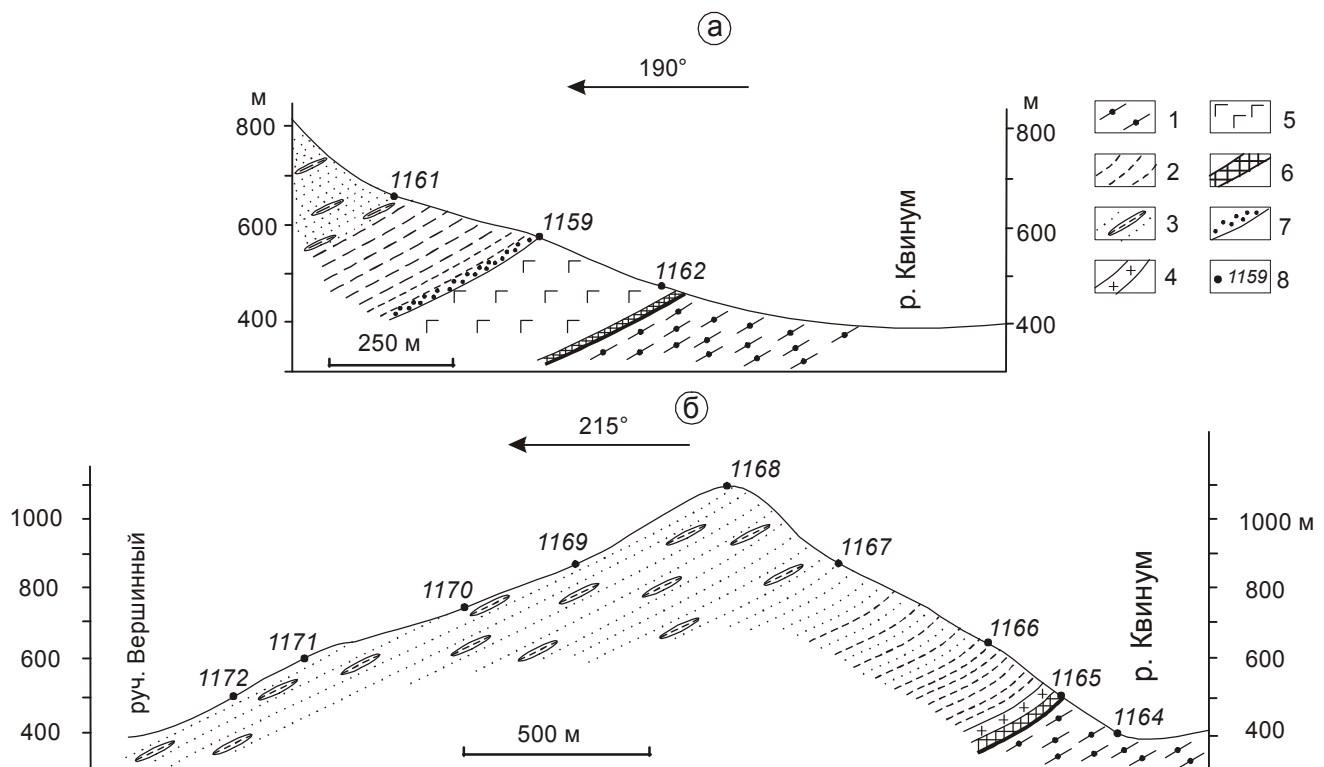


Рис. 2. Схематические геологические разрезы через рудопоявления Квинум-1 (а) и Квинум-2 (б) Квинумского рудного поля

1 – камчатская серия (шихтинская свита) – андалузит-гранат-слюдистые кристаллические сланцы; 2–3 – хейванская свита – гранат-слюдистые \pm андалузит кристаллические сланцы, филлиты (2), слюдястые метапесчаники с прослоями филлитов (3); 4 – кольский интрузивный комплекс (?) – рассланцованные аплитовидные граниты; 5–6 – дукукский интрузивный комплекс: габбро, габбронориты (5), кортландиты, горнблендиты (6); 7 – контактовые роговики; 8 – точки наблюдения.

Таблица 1. Состав минералов (мас. %), температура и давление метаморфизма метаморфических пород хейванской, шихтинской свит и колпаковской серии Квинумского рудного поля.

Обра- зец	Ми- не- рал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	X _{Mg}	T°C	P _s ·10 ⁸ Па	Парагенезис	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Хейванская свита																
1162/10	Gr _c	37.37	0.00	21.78	31.91	6.14	2.19	1.25	0.00	0.00	100.64	0.093	561 ¹⁾	1.4 ⁸⁾	Gr+Sta+Bi+Pl+Q	
	Gr _r	36.85	0.00	21.63	32.41	6.08	2.19	0.99	0.00	0.00	100.15	0.092				
	Bi	34.70	1.46	20.99	19.60	0.13	7.97	0.00	0.28	9.16	94.29	0.419				
	Pl _r	62.70	0.00	23.35	0.13	0.00	0.00	4.60	9.08	0.11	99.97	0.217 ⁹⁾				
1165/6	Gr _c	36.44	0.00	21.64	36.85	1.76	2.94	0.90	0.00	0.00	100.53	0.119	520 ¹⁾	2.4 ⁷⁾	Gr+Bi+Mu+Pl+Or+Q	
	Gr _r	36.83	0.00	21.46	35.22	3.18	2.07	1.06	0.00	0.00	99.82	0.088				
	Bi	34.70	1.16	21.21	21.11	0.04	9.13	0.00	0.31	8.85	96.51	0.435				
	Mu	43.75	0.28	36.82	0.84	0.00	0.47	0.00	1.17	9.11	92.44	0.500				
1204/2	Pl _r	63.32	0.00	22.95	0.58	0.00	0.00	4.26	9.28	0.12	100.51	0.201 ⁹⁾				
	Gr _c	37.11	0.00	21.59	32.72	5.08	2.08	1.72	0.00	0.00	100.30	0.089	547 ¹⁾	1.3 ⁷⁾ -2.4 ⁸⁾	Andl+Gr+Cor+Sta+Bi+Mu+Pl+Q	
	Gr _r	37.18	0.00	21.76	35.52	3.58	2.09	1.07	0.00	0.00	101.20	0.087				
	Bi	34.14	1.47	20.69	21.19	0.06	7.99	0.00	0.35	9.05	94.94	0.401				
	Mu	46.99	0.21	36.06	0.97	0.00	0.74	0.00	0.71	8.50	94.18	0.577				
1159	Cor	47.99	0.00	33.66	9.86	0.15	6.88	0.00	0.06	0.00	98.60	0.551				
	Pl _r	62.85	0.00	23.62	0.32	0.00	0.00	4.84	8.97	0.12	100.72	0.228 ⁹⁾				
	Gr _c	37.58	0.00	21.83	31.40	1.24	5.68	2.17	0.00	0.00	99.90	0.237	587 ¹⁾	3.3 ⁸⁾	Andl+Gr+Bi+Mu+Pl+Q+Ilm	
	Gr _r	37.68	0.00	21.69	34.82	1.36	3.14	2.06	0.00	0.00	100.75	0.134				
	Bi	35.88	1.00	21.50	20.02	0.05	9.28	0.00	0.05	9.30	97.08	0.452				
1153/1	Mu	45.37	0.30	36.56	1.40	0.00	0.45	0.00	0.51	8.41	93.00	0.365				
	Pl _r	59.03	0.00	26.18	0.98	0.00	0.00	7.48	7.35	0.08	101.10	0.358 ⁹⁾				
	Камчатская серия (шихтинская свита)															
	1153/1	Gr _c	37.19	0.00	22.00	31.60	4.23	0.97	4.92	0.00	0.00	100.91	0.046	550 ¹⁾	4.5 ⁸⁾	Andl+Gr+Sta+Bi+Mu+Pl+Q+Ilm
		Gr _r	37.02	0.00	22.01	36.43	1.14	1.92	2.70	0.00	0.00	101.22	0.083			
Sta _r		26.61	0.46	57.40	13.28	0.03	0.89	0.01	0.05	0.00	99.12*					
Bi		34.58	1.23	21.25	22.25	0.03	7.21	0.00	0.06	9.49	96.10	0.366				
Mu		46.36	0.26	36.72	1.38	0.00	0.52	0.00	0.64	9.29	95.17	0.402				
1204/1	Pl _r	61.35	0.00	24.45	0.33	0.00	0.00	5.87	8.47	0.23	100.70	0.273 ⁹⁾				
	Gr _c	37.27	0.00	21.64	33.24	4.06	1.98	2.43	0.00	0.00	100.62	0.086	549 ¹⁾	3.3 ⁸⁾ -4.1 ⁷⁾	Andl+Gr+Sta+Bi+Mu+Pl+Ilm	
	Gr _r	37.09	0.00	21.57	35.03	3.45	2.06	2.03	0.00	0.00	101.23	0.087				
	Sta _r	27.37	0.38	57.15	13.59	0.17	1.15	0.00	0.00	0.00	99.95*	0.129				
	Bi	34.65	1.49	20.66	21.35	0.08	7.95	0.00	0.22	9.10	95.50	0.398				
	Mu	50.39	0.17	35.30	1.20	0.00	1.17	0.00	0.50	8.79	97.52	0.635				
1180/3	Pl _r	61.93	0.00	24.34	0.05	0.00	0.00	5.77	8.41	0.09	100.59	0.274 ⁹⁾				
	Колпаковская серия															
	1180/3	Gr _c	37.22	0.00	21.85	36.97	2.06	2.46	1.03	0.00	0.00	101.58	0.101	577 ¹⁾	4.5 ⁷⁾	Gr+Sta+Bi+Mu+Pl+Q
		Gr _r	37.30	0.00	21.77	35.19	3.41	2.04	1.34	0.00	0.00	101.05	0.086			
		Sta _r	26.79	0.48	57.24	13.52	0.17	1.26	0.00	0.01	0.00	100.13* ³	0.142			
		Bi	34.31	2.15	20.98	21.39	0.03	6.74	0.00	0.06	8.69	94.35	0.359			
Mu		45.64	0.88	36.28	0.83	0.01	0.46	0.00	0.58	8.99	93.57	0.494				
Pl _r		64.28	0.00	22.32	0.49	0.00	0.00	3.43	9.79	0.08	100.39	0.162 ⁹⁾				

Таблица 1. Продолжение.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1195	Gr _c	37.46	0.00	21.57	32.23	6.73	1.73	0.90	0.00	0.00	100.62	0.073	581 ¹⁾	-	Gr+Bi+Pl+Or+Q
	Gr _r	37.02	0.00	21.68	31.86	8.26	1.22	0.87	0.00	0.00	100.91	0.051			
	Bi	34.13	2.37	20.29	24.00	0.32	4.99	0.00	0.01	9.81	95.85	0.268			
1201/1	Pl _r	63.68	0.00	23.25	0.46	0.00	0.00	3.88	9.96	0.23	101.46	0.175 ⁹⁾			
	Gr _c	37.14	0.00	21.86	35.14	2.62	2.69	1.71	0.00	0.00	101.16	0.113	586 ¹⁾	4.8 ⁸⁾	Ky+Gr+Sta+Bi+Mu+Pl+Q
	Gr _r	37.11	0.00	21.83	34.46	3.45	2.14	2.09	0.00	0.00	101.08	0.091			
	St _a	26.61	0.56	57.24	13.55	0.21	1.86	0.00	0.01	0.00	99.44* ⁴⁾	0.131			
	Bi	34.69	1.82	21.15	22.14	0.65	7.29	0.00	0.06	9.10	96.90	0.363			
1184/3	Pl _r	62.81	0.00	23.49	0.31	0.00	0.00	4.93	8.97	0.09	100.60	0.232 ⁹⁾			
	Bi ¹	35.40	2.69	19.32	18.90	0.14	9.19	0.01	0.06	9.89	95.60	0.462	530 ²⁾	-	Mu+Bi+Pl+Q
	Bi ²	34.13	2.30	20.29	24.00	0.32	4.99	0.00	0.01	9.81	95.85	0.268			
	Mu	45.80	0.83	35.43	0.95	0.05	0.77	0.00	0.41	10.03	94.27	0.579			
1192/4	Pl _r	64.05	0.00	22.85	0.06	0.00	0.00	3.73	9.56	0.36	100.61	0.174 ⁹⁾			
	Gr _c	37.69	0.00	21.73	20.98	11.31	0.48	7.90	0.00	0.00	100.09	0.026	560 ⁵⁾	4.2 ⁵⁾	Gr+Hb+Pl±Or+Ilm
	Gr _r	37.80	0.00	21.58	25.91	4.80	1.27	9.23	0.00	0.00	100.59	0.067			
	Hb _r	44.64	0.74	11.14	20.87	0.27	7.83	10.86	1.60	0.40	98.35	0.398			
	Pl _c	61.14	0.00	24.38	0.19	0.00	0.00	5.96	8.41	0.17	100.25	0.279 ⁹⁾			
1195/4	Pl _r	59.08	0.00	26.28	0.43	0.00	0.00	7.49	7.38	0.05	100.71	0.358 ⁹⁾			
	Gr _c	37.13	0.00	21.22	29.13	2.59	1.45	8.76	0.00	0.00	100.28	0.075	560 ⁶⁾	4.5 ⁽⁷⁾	Gr+Hb+Cum+Pl+Ilm
	Gr _r	37.18	0.00	21.12	31.49	1.53	1.86	7.95	0.00	0.00	101.13	0.091			
	Hb _c	45.55	0.94	10.59	22.29	0.27	7.60	10.24	1.89	0.25	99.62	0.375			
	Hbr	44.60	0.54	10.86	21.72	0.20	6.28	10.78	1.36	0.36	96.70	0.338			
	Cum	52.32	0.03	0.88	32.39	0.69	11.30	1.05	0.03	0.00	98.69	0.378			
	Pl _c	60.65	0.00	24.98	0.12	0.00	0.00	6.43	8.01	0.08	100.27	0.306 ⁹⁾			
1189	Pl _r	59.44	0.00	25.75	0.49	0.00	0.00	7.34	7.49	0.05	100.56	0.350 ⁹⁾			
	Срх _c	52.01	0.03	0.92	10.94	0.26	10.85	23.31	0.04	0.00	98.39**	0.633	700 ⁴⁾	-	Срх+Hb+Pl
	Hb _c	51.28	0.27	5.70	14.74	0.22	12.48	12.09	0.48	0.05	97.31	0.598			
	Hb _r	48.47	0.29	7.55	15.57	0.21	11.64	11.93	0.61	0.08	96.35	0.568			
	Pl _c	45.55	0.00	35.17	0.20	0.00	0.00	17.64	1.42	0.01	99.99	0.872 ⁹⁾			
1189/1	Pl _r	46.11	0.00	34.40	0.23	0.00	0.00	17.01	1.96	0.01	99.72	0.827 ⁹⁾			
	Hb _r	47.58	0.45	9.54	12.83	0.21	13.08	11.54	1.24	0.15	96.62	0.641	575 ³⁾	-	Hb+Pl
	Pl _r	54.92	0.00	28.85	0.38	0.00	0.00	10.93	5.32	0.07	100.47	0.529 ⁹⁾			

Примечание. Температура: ¹⁾ гранат-биотитового [2, 5]; ²⁾ биотит-мусковитового [1], ³⁾ амфибол-плагноклазового [15], ⁴⁾ клинопироксен-плагноклазового [14] равновесий, ⁵⁾ температура и давление по экспериментальному амфибол-плагноклазовому геотермобарометру [15], ⁶⁾ температура по амфибол-плагноклазовому геотермометру [25]. Давление: ⁷⁾ по гранат-биотит-мусковит-плагноклазовому и ⁸⁾ по Gr-Pl-Al₂SiO₅ геобарометрам [1]. ⁹⁾ Содержание анортитового компонента в плагноклазе $X_{An} = Ca / (Ca + Na + K)$. $X_{Mg} = Mg / (Mg + Mn + Fe)$. * В сумму дополнительно включено ZnO (мас. %): 1153/1 – 0.19; 1204/1 – 0.14; 1180/3 – 0.66; 1201/1 – 0.40. ** В сумму дополнительно включено 0.03 % Cr₂O₃. Обр. 1162/10 – гранат-ставролит-биотитовый кристаллический сланец; 1165/6 – гранат-слюдистый кристаллосланец; 1153/1, 1204/1, 1204/2, 1180/3 – гранат-ставролит-слюдистые (=андалузит) кристаллические сланцы; 1159 – андалузит-гранат-слюдистый роговик; 1195 – грант-биотитовый мигматит; 1201/1 – гранат-ставролит-слюдистый мигматизированный кристаллический сланец; 1184/3 – слюдистый мигматит; 1192/4, 1195/4 – гранатые амфиболиты; 1189 – клинопироксен-амфиболовый основной сланец; 1189/1 – меланократовый амфиболит. Положение образцов см. на рис. 1. Здесь и в последующих таблицах анализ минералов выполнен на микрозонде Camebax в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

По пологим надвигам образования хейванской свиты надвинуты на кристаллические сланцы камчатской серии (шихтинской свиты). Реликты этого покрова отмечаются на правом берегу р. Квинум (г. Пещерная, рис. 1) и в виде “нашлепки” мощностью около 25 м на вершине г. Высокой (не отражено на геологической схеме рис. 1).

Метаморфизованные осадочные породы камчатской серии представлены андалузитсодержащими гранат-ставролит-слюдистыми кристаллическими сланцами, степень метаморфизма которых отвечает условиям амфиболитовой фации ($T=550^{\circ}\text{C}$, $P_s=3.3-4.5$ кбар, табл. 1). Вниз по разрезу серии породы слабо мигматизированы и содержат послойные и реже секущие синметаморфические гранитные и пегматитовые тела.

В междуречье Квинум-Правый Кихчик отложения камчатской серии прорываются интрузивными телами алисторского (?) интрузивного комплекса – метапикритами и метадолеритами [5], а также массивами тоналитов, гранодиоритов и трондьемитов кольского интрузивного комплекса (рис. 1).

Отложения камчатской серии несогласно перекрывают метаморфические образования колпаковской серии, залегающей в основании метаморфического разреза Срединного хребта. Породы колпаковской серии представлены мигматизированными кианит-гранат-слюдистыми (нередко со ставролитом) плагиогнейсами и мигматитами, содержат тела клинопироксен-амфиболовых основных сланцев, амфиболитов и гранатовых амфиболитов мощностью до 20–50 м и насыщены синметаморфическими гранитами и пегматитами. В колпаковских отложениях отмечаются также крупные интрузивы гнейсированных гранитоидов (тоналитов, гранодиоритов и реже трондьемитов) крутогоровского интрузивного комплекса.

Метаморфизм колпаковской серии данного района отвечает кианитовой минеральной субфации амфиболитовой фации ($T=530-590^{\circ}\text{C}$, $P_s=4.2-4.8$ кбар, табл. 1), что определяет широкое развитие кианита в высокоглиноземистых ассоциациях метаморфических пород. Сходные параметры метаморфизма определены по гранат-амфиболовому геотермометру [25] и по экспериментальному амфибол-плагиоклазовому геотермобарометру [15] для парагенезисов богатых кальцием пород колпаковской серии (табл. 1).

Сравнение физико-химических параметров метаморфизма хейванской свиты, камчатской и колпаковской серий (табл. 1) свидетельствует, что давление (глубинность) метаморфизма постепенно возрастает вниз по разрезу метаморфических образований

Срединного хребта от андалузитовых парагенезисов до кианитовых.

Исходными породами для кристаллических сланцев, филлитов и слюдистых метапесчаников хейванской свиты (табл. 2) служили разнообразные осадочные образования – от монтмориллонитовых глин до доломитистых песчаников и граувакк, при преобладающей роли монтмориллонитовых глин, принадлежащих к натрово-магнезиальному ряду пород умеренной и высокой железистости и высокой глиноземистости [12].

В составе камчатской серии (шихтинской свите) преобладают высокоглиноземистые гранат-слюдистые и андалузит-гранат-слюдистые (\pm ставролит) кристаллические сланцы (табл. 2). Исходными образованиями для них служили гидрослюдистые и монтмориллонитовые глины – породы натрово-магнезиального ряда высокой железистости и глиноземистости, обуславливающих возникновение парагенезисов с гранатом, ставролитом, андалузитом, высокоглиноземистым биотитом и мусковитом.

В колпаковской серии наиболее широким распространением пользуются бедные кальцием ($\text{CaO}\leq 5$ мас. %) апотерригенные породы, содержащие тела богатых кальцием образований – амфиболитов, гранатовых амфиболитов и клинопироксен-амфиболовых основных сланцев. Среди бедных кальцием пород серии преобладают гранат-слюдистые (\pm ставролит, \pm кианит) плагиогнейсы и их мигматизированные разности, исходный состав которых отвечает монтмориллонитовым и гидрослюдистым глинам и реже грауваккам [12]. Общей их петрохимической особенностью является высокая глиноземистость и железистость (табл. 2).

Среди богатых кальцием пород колпаковской серии изученного района наиболее распространены амфиболиты и их гранатовые разности. Эти породы отличаются умеренной железистостью и низкой глиноземистостью (табл. 2). Реконструкция их первичного состава свидетельствует, что исходными породами служили базальты и меньше андезибазальты толеитового и известково-толеитового рядов. Гранатовые амфиболиты района, как и в пределах всей метаморфической зоны Срединного хребта, отличаются высокой титанистостью (табл. 2) и образовались, вероятно, при метаморфизме исходных внутриплитных магматических пород.

РУДОПРОЯВЛЕНИЯ КВИНУМ-1 И КВИНУМ-2

Рудопроявления Квинум-1 (рис. 3) и Квинум-2 (рис. 4) расположены в центральной части Квинумского рудного поля, на левобережье среднего течения

Таблица 2. Химический состав метаморфических пород хейванской свиты, камчатской и колпаковской серий Квинумского рудного поля.

Обр.	1159	1159/7	1162/10	1165/6	1173/4	1175/1	1204/2	1166	1174	1153/1	1204/1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	55.25	63.50	68.20	64.00	64.00	66.70	63.00	74.10	66.40	54.10	63.30
TiO ₂	1.25	0.74	0.69	0.82	0.92	0.74	0.92	0.38	0.62	1.08	0.90
Al ₂ O ₃	20.28	18.95	15.58	15.82	17.28	15.14	15.64	11.00	15.51	23.00	15.27
Fe ₂ O ₃	4.54	2.76	3.65	3.83	5.18	4.50	5.00	1.62	3.15	7.44	6.49
FeO	4.08	3.17	1.90	3.52	1.62	1.94	2.60	1.41	2.32	0.92	1.06
MnO	0.18	0.09	0.08	0.08	0.07	0.28	0.09	0.05	0.06	0.08	0.07
MgO	1.79	0.78	1.28	2.83	3.44	2.64	2.93	2.02	2.24	1.76	3.57
CaO	3.09	2.00	2.04	1.16	1.43	1.09	2.05	1.76	1.91	2.46	2.05
Na ₂ O	3.00	1.90	3.30	3.00	1.35	2.50	2.48	3.60	3.25	2.80	2.48
K ₂ O	1.56	2.56	2.00	2.61	2.55	2.61	2.50	2.40	2.15	3.40	2.35
P ₂ O ₅	0.20	0.19	0.28	0.25	0.41	0.14	0.33	0.13	0.22	0.35	0.33
П.п.п.	4.51	3.00	1.09	2.06	1.56	1.59	2.31	1.50	2.00	2.60	2.12
Сумма	99.73	99.64	100.09	99.98	99.81	99.87	99.85	99.97	99.83	99.99	99.99
Rb	28	89	34	62	47	84	50	49	67	111	53
Sr	447	292	449	146	128	197	150	282	295	315	251
Ba	877	634	967	753	754	2357	706	662	569	628	611
Zr	226	242	208	168	193	140	197	165	114	260	214
Y	28	31	26	25	27	22	28	21	22	32	25
Nb	19	26	29	23	20	19	25	10	15	30	23
La	9	49	43	50	34	н.о.	34	25	32	50	33
Ce	28	80	24	43	54	8	52	45	31	88	53
Nd	н.о.	13	10	21	11	н.о.	13	3	3	27	12
Ni	48	88	65	119	98	75	59	56	57	58	91
Co	22	40	26	46	31	31	18	22	20	16	22
Cr	152	118	114	229	181	96	113	93	97	108	155
V	130	154	118	162	168	151	119	87	111	163	126
Cu	101	89	20	25	30	82	20	50	72	30	86

Обр.	1180/3	1201/1	1180	1195	1199	1184/3	1192/4	1195/4	1180/1	1189
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SiO ₂	66.30	66.50	73.80	64.50	68.90	72.50	49.40	50.00	49.50	52.20
TiO ₂	0.76	0.90	0.53	0.65	0.68	0.62	2.26	2.91	0.77	1.07
Al ₂ O ₃	15.80	14.50	12.35	16.60	13.60	13.05	17.12	10.65	15.37	16.90
Fe ₂ O ₃	2.53	2.94	1.10	2.25	4.00	1.65	4.58	5.41	3.80	4.50
FeO	3.03	3.73	2.04	2.04	1.69	1.62	8.10	12.67	3.87	3.52
MnO	0.05	0.08	0.05	0.10	0.07	0.05	0.20	0.26	0.14	0.15
MgO	1.70	2.83	2.73	2.37	2.83	2.30	4.30	6.51	8.86	3.04
CaO	1.40	1.98	0.61	3.37	1.84	1.36	8.66	7.98	11.59	15.28
Na ₂ O	2.80	2.65	2.70	4.55	3.17	2.65	4.00	3.17	2.70	1.52
K ₂ O	2.75	2.05	2.83	1.95	1.94	2.05	0.20	0.07	0.10	0.10
P ₂ O ₅	0.24	0.40	0.12	0.24	0.06	0.12	0.55	0.40	0.33	0.18
П.п.п.	2.60	1.33	1.10	0.94	1.00	2.00	0.61	-	2.93	1.37
Сумма	99.97	99.89	99.96	99.56	99.78	99.97	99.98	100.03	99.96	99.83
Rb	64	53	68	45	53	83	н.о.	4	н.о.	н.о.
Sr	228	251	255	224	248	225	331	216	139	157
Ba	836	611	1146	314	561	60.3	423	59	22	6
Zr	199	214	166	335	166	150	158	220	35	63
Y	26	25	16	45	22	23	37	45	18	24
Nb	27	23	22	28	24	20	5	9	0	63
La	20	33	20	55	24	31	н.о.	16	11	11
Ce	45	53	36	88	45	53	20	32	18	18
Nd	н.о.	12	н.о.	35	н.о.	н.о.	0	13	н.о.	3
Ni	56	71	107	13	70	19	114	39	158	70
Co	17	24	60	8	39	6	55	36	42	39
Cr	112	127	120	22	225	106	248	28	458	225
V	114	120	107	86	102	104	131	134	105	102
Cu	25	20	59	22	35	60	73	20		35

Таблица 2. Продолжение.

Обр.	1189/1	1180/9	1181/1	1200	1165/4	1159/1	1178	1154/3	1155/5	1157/2
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
SiO ₂	51.10	73.10	71.10	72.10	76.00	53.50	54.20	44.30	43.55	43.85
TiO ₂	1.11	0.53	0.66	0.53	0.18	0.46	0.69	0.08	0.38	0.26
Al ₂ O ₃	14.16	13.48	13.80	10.00	11.66	17.40	14.10	3.76	9.95	8.56
Fe ₂ O ₃	4.27	1.50	3.00	1.94	1.51	3.44	3.87	8.20	4.54	5.15
FeO	4.93	1.76	0.56	2.04	0.63	2.60	3.24	1.06	5.63	4.79
MnO	0.17	0.04	0.05	0.08	0.04	0.14	0.12	0.24	0.21	0.23
MgO	9.00	1.36	2.34	1.51	0.82	6.05	9.50	29.73	22.39	24.01
CaO	11.73	1.50	1.02	2.11	1.16	8.78	8.08	1.70	6.31	5.63
Na ₂ O	2.65	3.08	3.08	4.50	5.50	3.75	3.00	0.00	0.30	0.00
K ₂ O	0.04	2.15	2.72	3.65	1.72	1.55	0.50	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.15	0.24	0.11	0.35	0.11	0.24	0.45	0.16	0.19	0.30
П.п.п.	0.70	1.15	1.43	1.08	0.65	2.00	1.95	10.19	6.03	7.00
Сумма	100.01	99.89	99.87	99.89	99.98	99.91	100.00	99.42	99.48	99.78
Rb	н.о.	54	110	101	20	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Sr	175	234	293	329	102	645	385	60	101	58
Ba	17	521	1244	749	479	251	246	н.о.	7	10
Zr	55	113	198	191	224	41	66	н.о.	н.о.	н.о.
Y	19	22	24	21	34	19	17	13	16	13
Nb	5	17	27	20	20	н.о.	7	н.о.	1	2
La	9	24	45	24	25	9	20	9	10	8
Ce	13	35	51	48	58	15	30	5	7	5
Nd	9	7	15	2	9	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Ni	85	27	39	38	8	268	105	548	383	463
Co	42	10	11	16	5	63	36	63	55	54
Cr	292	110	135	75	12	67	183	1194	863	729
V	97	101	120	109	27	79	106	42	84	71
Cu	101	45	20	40	15	124	66	20	40	72

Примечание. 1–9 – хейванская свита: 1 – андалузит-гранат-слюдистый роговик, 2–7 – гранат-слюдистые±ставролит±андалузит±кордиерит кристаллические сланцы, 8 – биотитовый кристаллический сланец, 9 – хлорит-серицитовый филлит; 10–11 – камчатская серия (шихтинская свита) – андалузит-гранат-ставролит-слюдистые кристаллические сланцы; 12–22 – колпаковская серия: 12–16 – гранат-слюдистые±ставролит±кианит мигматизированные плагиогнейсы, 17 – мусковит-биотитовый плагиогнейс, 18–19 – гранатовый амфиболит, 20–21 – клинопироксен-амфиболовый основной сланец, 22 – амфиболит; 23–25 – гнейсированные гранитоиды крутогоровского (?) интрузивного комплекса; 26 – рассланцованный биотит-мусковитовый аплитовидный гранит кольского(?) интрузивного комплекса; 27–28 – диафорированные габброиды дукуцкого интрузивного комплекса; 29–31 – алисторский(?) интрузивный комплекс: метапикриты (29–30), метадолерит (31). Петрогенные элементы (мас. %) определены весовым химическим методом, рассеянные компоненты (г/т) – рентгено-радиометрическим и количественным спектральным методами.

р. Квинум и приурочены к небольшим силлообразным интрузивам габбро-кортландитового состава, локализованным в пределах пологой надвиговой зоны субширотного простирания, прослеживающейся между отложениями хейванской свиты и камчатской серии. Общая протяженность массивов порядка 1000 м при мощности от первых метров на флангах интрузивных тел до 200 м в их центральных частях.

Контакты интрузивных тел преимущественно тектонические с зонами тектонического меланжа, рассланцевания и развальцевания пород. Вмещающие породы хейванской свиты на контакте с массивами ороговикованы и иногда сильно пиритизированы. Мощность зон ороговикования редко превышает

первые метры. Во внутренних частях контактовых ореолов вмещающие кристаллические сланцы превращены в сильно пиритизированные андалузит-гранат-слюдистые роговики, плагиоклаз которых характеризуется более высоким содержанием анортитовой молекулы, а гранат – пониженной железистостью и марганцовистостью по сравнению с минералами исходных кристаллических сланцев (обр. 1159, табл. 1). Температура контактового метаморфизма достигает 600°C.

Для массива Квинум-1 характерно двухслойное строение, выражающееся в наличии ультраосновных пород – кортландитов (рис. 3), слагающих нижние части расслоенного массива, и основных пород –

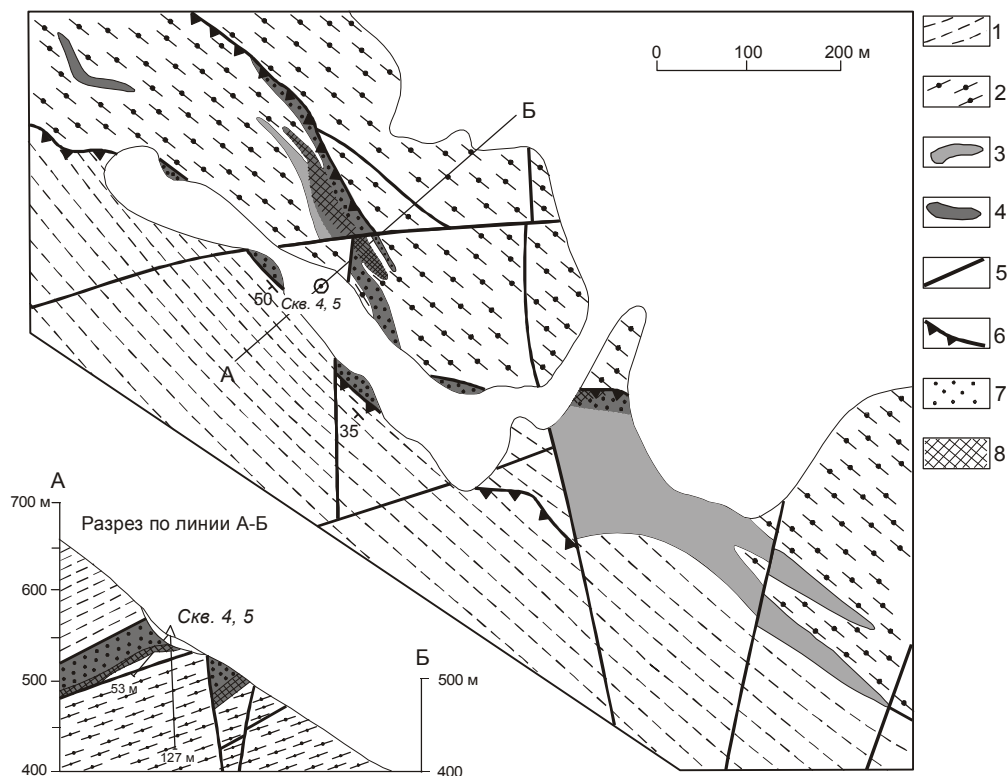


Рис. 3. Схематический геологический план и разрез по линии А-Б рудопоя Квинум-1.

1 – хейванская свита – гранат-слюдистые±андалузит кристаллические сланцы, филлиты, слюдистые метапесчаники; 2 – камчатская серия (шихтинская свита) – андалузит-гранат-слюдистые кристаллические сланцы; 3–4 – дукусский интрузивный комплекс: габбро, габбронориты, габбродиориты (3), кортландиты, горнблендиты (4); 5–6 – тектонические нарушения: разломы (5), пологие надвиги (6); 7–8 – медно-никелевые руды: бедные вкрапленные (7), богатые массивные и прожилково-вкрапленные (8).

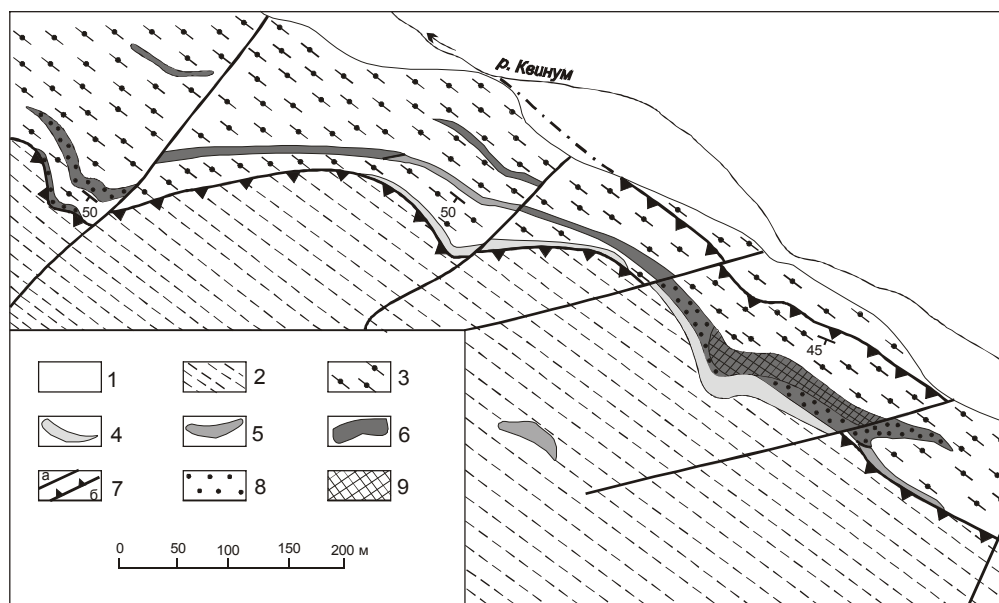


Рис. 4. Схематический геологический план рудопоя Квинум-2.

1 – рыхлые четвертичные отложения; 2 – хейванская свита – гранат-слюдистые±андалузит кристаллические сланцы, филлиты, слюдистые метапесчаники; 3 – камчатская серия (шихтинская свита) – андалузит-гранат-слюдистые кристаллические сланцы; 4 – кольский интрузивный комплекс (?) – расланцованные аплитовидные граниты; 5–6 – дукусский интрузивный комплекс: габбро, габбронориты (5), кортландиты, горнблендиты (6); 7 – тектонические нарушения: разломы (а), пологие надвиги (б); 8–9 – медно-никелевые руды: бедные вкрапленные (8), богатые массивные и прожилково-вкрапленные (9).

габбро и габброноритов, залегающих в верхней части интрузивного тела. Строение массива сложное, неоднородное. Его юго-восточная часть и висячий бок центральной части сложены преимущественно габброноритами и клинопироксен-амфиболовыми среднезернистыми габбро, сменяющимися в сторону лежачего бока меланократовыми габбро, содержащими невыдержанные тела кортландитов мощностью от первых десятков сантиметров до 5–20 м. В северо-западном направлении массив расщепляется на две ветви (нижнюю и верхнюю мощностью от 10–15 до 40–50 м), сложенные сильно измененными амфиболовыми перидотитами, сменяющимися в сторону висячего бока плагиоклазовыми перидотитами, а затем амфиболовыми габбро. В этих двух линейно вытянутых интрузивных телах Нижнем и Верхнем выявлено три залежи богатых прожилково-вкрапленных медно-никелевых руд, а в одной из них в пределах Верхнего массива еще и залежь массивных брекчированных руд мощностью до 2.5 м [16, 20], опробованных скв. 4 и 5 (рис. 3).

В 1.2 км к северо-западу от рудопроявления Квинум-1 расположено рудопроявление Квинум-2 (рис. 1, 4), представленное линейно вытянутой пластовой залежью сильно измененных кортландитов мощностью около 20 м [16]. Кортландиты содержат вкрапленность, гнезда и прожилковые выделения сульфидов, из которых преобладает пирротин. Наиболее богатое сульфидное оруденение, представленное массивными рудами мощностью около 2.0–2.5 м, приурочено к донной части кортландитового тела этого рудопроявления. Вверх по разрезу массивные сульфидные руды сменяются прожилково-вкрапленными и вкрапленными. Самая верхняя часть кортландитового тела практически лишена сульфидной минерализации.

Возраст интрузивных образований рудопроявлений Квинум-1 и Квинум-2 по данным Sm–Nd и Rb–Sr изотопии равен 65–67 млн лет [9]. Возраст Кувалорогского интрузива, расположенного юго-восточнее рудопроявлений Квинумского рудного поля, по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопного метода составляет 57.2 ± 1.4 млн лет, а конкордия по данным U–Pb SHRIMP метода соответствует возрасту 50.8 ± 1.4 млн лет [6]. Подобная большая разница возрастных определений обусловлена использованием для анализа минералов разных фаз формирования Кувалорогского массива (амфибола и биотита главной фазы массива и циркона – из самых поздних гибридных его дифференциатов).

МИНЕРАЛОГИЯ КОРТЛАНДИТОВ

Амфиболовые перидотиты – кортландиты – изученных рудопроявлений подверглись мощным автометасоматическим процессам изменения и практически нацело преобразованы в тальк-тремолит (актинолит)-хлоритовый агрегат, содержащий реликты магматического амфибола – паргасита, чермакита или чермакитовой роговой обманки [по 23], иногда оливина, хромовой шпинели и ильменита. В расположенном западнее рудопроявлении Тундровом обнаружены слабо измененные разности кортландитов, первичный состав которых включает оливин, паргасит, хромовую шпинель и резко подчиненное количество клино- и ортопироксена (табл. 3). Ортопироксен редко сохраняется в амфиболовых перидотитах, обычно полностью замещаясь куммингтонитом. В зоне перехода к вышезалегающим габброидам в амфиболовых перидотитах появляется небольшое количество основного плагиоклаза.

Магматический амфибол кортландитов – паргасит или чаще чермакит и чермакитовая роговая обманка (отличие чермакита и чермакитовой роговой обманки от паргасита – в дефиците щелочей в позиции А) (табл. 4) – в значительном мере замещены хлоритом и актинолитом (рис. 5). Этот тренд замещения первичного амфибола характерен как для рудных, так и безрудных интервалов кортландитов и одинаков как для пород в целом, так и для отдельных кристаллов амфибола.

В таблице 5 приведены средние составы биотита, куммингтонита, хромовой шпинели и ильменита кортландитов изученных рудопроявлений. Хромовая шпинель характеризуется повышенным содержанием цинка. Наличие цинковых шпинелей является специфической особенностью минерального состава сульфидных медно-никелевых руд и вмещающих их базит-гипербазитовых интрузий многих медно-никелевых месторождений Центральной Камчатки [19].

СУЛЬФИДНАЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВО-ПЛАТИНОИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

Сульфидная минерализация образует в измененных кортландитах Квинумского рудного поля линзовидные залежи сплошных массивных и прожилково-вкрапленных медно-никелевых руд протяженностью от 150 до 500 м при мощности от первых до 5–20 м. Габброиды расслоенных массивов, как правило, рудной минерализации практически не содержат, за исключением бедной вкрапленности пирротина и пирита.

Таблица 3. Представительные микрзондовые анализы минералов слабо измененных кортландитов (обр. 3776) рудопрооявления Тундровое, Квинумское рудное поле [20].

Компонент	O1 (n=9)	Opх (n=3)	Срх (n=3)	Hb (n=5)	Spl (n=14)	Pl* (n=2)
SiO ₂	39.11	52.92	49.10	40.71	0.00	57.10
TiO ₂	0.00	0.21	0.83	2.88	0.44	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	4.79	7.28	15.79	30.56	27.92
Cr ₂ O ₃	0.00	0.51	0.39	0.10	30.82	0.00
Fe ₂ O ₃					6.00	
FeO	15.89	8.87	5.07	6.90	23.33	0.02
MnO	0.06	0.06	0.06	0.08	0.34	0.00
MgO	44.88	29.22	14.65	15.13	8.41	0.00
NiO	0.31	0.03	0.00	0.04	0.09	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00
CaO	0.06	1.38	19.76	10.49	0.00	8.79
Na ₂ O	0.00	0.03	0.77	3.23	0.00	6.34
K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.69	0.00	0.04
Сумма	100.31	98.02	97.86	96.04	100.31	100.21
X _{Mg}	0.834	0.854	0.837	0.796	0.343	-
X _{An}	-	-	-	-	-	0.433
Wo	-	2.8	44.8	-	-	-
En	-	83.1	46.2	-	-	-
Fs	-	14.1	9.0	-	-	-
Si	0.985	1.893	1.832	5.963	-	2.549
Ti	-	0.006	0.023	0.317	0.081	-
Al	-	0.202	0.320	2.729	8.830	1.470
Cr	-	0.014	0.011	0.011	5.966	-
Fe ³⁺	-	-	-	0.374	1.106	-
Fe ²⁺	0.335	0.265	0.158	0.471	4.770	0.001
Mn	0.001	0.002	0.002	0.010	0.071	-
Mg	1.685	1.557	0.814	3.302	3.068	-
Ni	0.006	0.001	-	0.004	0.018	-
Zn	-	-	-	-	0.059	-
Ca	0.002	0.053	0.790	1.646	-	0.420
Na	-	0.002	0.056	0.917	-	0.549
K	-	-	-	0.128	-	0.002

*Плагиоклаз появляется в кортландитах в зоне перехода к вышележащим габброидам.

Примечание. Расчет формульных единиц произведен: O1 – на 8 (O), Срх, Opх – на 6 (O), Hb – на 23 (O), Spl – на 32 (O), Pl – на 8(O). Fe²⁺, Fe³⁺ в амфиболе (паргасите) рассчитано по формуле: Fe³⁺=Al^{IV}-Al^{VI}-2Ti-Na(A)-K(A)+Na(M₄). Fe²⁺, Fe³⁺ в шпинели определено согласно стехиометрической формуле. X_{Mg}=Mg/(Mg+Fe), X_{An}=Ca/(Ca+Na+K). n – количество анализов.

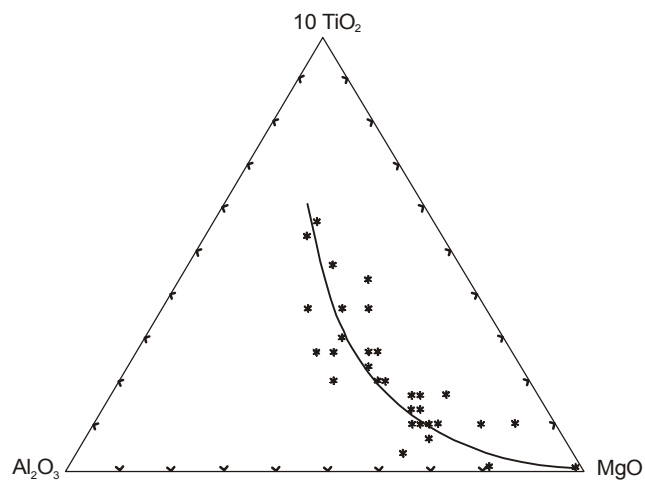


Рис. 5. Тренд изменения магматических амфиболов кортландитов рудопрооявлений Квинум-1 и Квинум-2 (использованы мас. % элементов; общее число анализов 150).

С поверхности руды рудных тел в значительной степени окислены и выщелочены с образованием железной шляпы. Рудные тела изучены канавами и расчистками и опробованы двумя скважинами (скв. 4 и 5, рис. 3), вскрывшими в верхней части рудного тела слабо выщелоченные прожилково-вкрапленные руды, а в его подошве – массивные сульфидные руды мощностью 2.2–2.5 м.

Минеральный состав сульфидных руд рудных залежей одинаков и типичен для подобных медно-никелевых месторождений других регионов. Сплошные и прожилково-вкрапленные руды характеризуются парагенезисом пирротина, пентландита и халькопирита, составляющими в сумме более 90 % от общего количества рудных минералов. Значительно меньшим распространением среди сульфидов

Таблица 4. Представительные микронзондовые анализы реликтовых амфиболов из кортландитов рудопроявлений Квинум-1 и Квинум-2.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	Среднее (n=8)
SiO ₂	41.93	42.34	41.77	41.62	42.54	41.68	42.47	42.71	42.13
TiO ₂	3.34	3.16	3.11	3.01	3.00	2.82	2.49	2.45	2.92
Al ₂ O ₃	14.51	13.34	13.91	14.99	14.07	13.18	14.70	14.30	14.13
Cr ₂ O ₃	0.02	0.10	0.07	0.01	0.12	0.11	0.45	0.46	0.17
FeO	12.16	10.14	10.77	12.20	9.26	9.82	9.56	9.80	10.46
MnO	0.11	0.07	0.14	0.08	0.16	-	0.09	0.08	0.10
MgO	12.03	13.07	12.20	11.50	12.51	12.91	12.93	12.53	12.46
NiO	0.03	-	0.01	0.02	0.05	-	-	-	0.03
CaO	10.62	10.82	11.01	10.94	11.15	10.50	10.93	11.00	10.87
Na ₂ O	1.42	1.30	1.33	1.37	1.42	2.18	1.52	1.42	1.50
K ₂ O	0.88	0.87	0.76	0.83	0.84	0.87	0.87	0.82	0.84
Сумма	97.05	95.21	95.08	96.57	95.12	94.07	96.01	95.57	95.61
X_{Mg}	0.638	0.697	0.669	0.627	0.707	0.701	0.707	0.695	0.680
на 23 (O)									
Si	6.199	6.299	6.247	6.164	6.310	6.289	6.249	6.316	6.255
Ti	0.371	0.354	0.349	0.335	0.335	0.320	0.276	0.273	0.326
Al	2.531	2.342	2.454	2.619	2.463	2.347	2.552	2.495	2.475
Cr	0.003	0.012	0.008	0.001	0.014	0.013	0.052	0.054	0.020
Fe ³⁺	0.392	0.362	0.296	0.361	0.136	0.233	0.354	0.279	0.314
Fe ²⁺	1.112	0.899	1.051	1.150	1.012	1.006	0.822	0.933	0.012
Mn	0.013	0.009	0.018	0.010	0.020	-	0.011	0.010	0.985
Mg	2.650	2.898	2.719	2.538	2.765	2.903	2.835	2.755	2.757
Ni	0.004	-	0.001	0.003	0.006	-	-	-	0.004
Ca	1.682	1.725	1.764	1.736	1.772	1.698	1.723	1.743	1.729
Na	0.407	0.375	0.385	0.393	0.408	0.638	0.434	0.407	0.432
K	0.166	0.165	0.145	0.157	0.159	0.168	0.164	0.155	0.159

Примечание. Амфиболы, по номенклатуре [23]: 1, 3, 4 – чермакит, 2, 5, 7, 8 – чермакитовая роговая обманка, 6 – паргаситовая роговая обманка. $X_{Mg}=Mg/(Fe+Mg)$.

Таблица 5. Средние составы куммингтонита, биотита, хромшпинели и ильменита из кортландитов рудопроявлений Квинум-1 и Квинум-2.

Компонент	Куммингтонит (n=38)	Биотит (n=6)	Хромшпинель (n=12)	Ильменит (n=11)
SiO ₂	56.30	38.86	-	-
TiO ₂	0.05	1.22	0.52	49.39
Al ₂ O ₃	0.18	15.67	15.30	-
Cr ₂ O ₃	-	0.43	45.27	-
FeO	18.77	13.96	36.72	45.18
MnO	0.48	0.19	0.72	3.45
MgO	20.50	8.67	1.30	0.20
ZnO	-	-	1.28	-
CaO	0.99	-	-	-
Na ₂ O	0.03	0.19	-	-
K ₂ O	0.01	8.67	-	-
Сумма	97.31	94.82	101.11	98.22
X_{Mg}	0.661	0.669	-	-

Примечание. n – число анализов.

пользуются пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит и лёллингит (впервые отмечается в рудах Камчатки). Апикальные части рудных залежей массивных руд обогащены сульфоарсенидами и теллуридами никеля, теллуридами и антимонидами висмута и палладия, содержат самородное золото и реже – арсенид платины – сперрилит. В центральных частях рудных залежей содержание этих минералов обычно незначительное.

Пирротин – главный рудный минерал прожилково-вкрапленных и массивных сульфидных руд – распространен по всему рудному интервалу рудопроявлений Квинумского рудного поля. В рудах присутствует пирротиновый твердый раствор (моносульфид) и безникелистый пирротин с “пламенеvidными” включениями пентландита. Обе разновидности наблюдаются в виде выделений размером от первых микрон до 10 и более миллиметров. Состав пирротина изменяется довольно значительно: Fe – 52.7–59.9 %, Ni – 0–7.0 %, S – 36.7–40.2 % (табл. 6) и может содержать незначительную примесь меди (до 0.5 %) и мышьяка (до 3 %). Для кристаллов пирротина характерна четкая зональность, выражающаяся в снижении концентрации никеля от центра к периферии зерен. Наиболее поздняя генерация пирротина, наблюдаемая в виде реликтовых включений в прожилках пирита, содержит примесь меди (до 0.2–0.3 %). В зоне окисления пирротин интенсивно замещается виоляритом.

Халькопирит по распространенности в рудах уступает только пирротину и характеризуется довольно выдержанным составом (табл. 6). Он кристаллизуется несколько позднее пирротина и пентландита, инъецирует массивные руды и дает непосредственные переходы к метасоматическим рудам, приуроченным к контактам рудных залежей и вмещающим породам. Халькопирит обычно содержит включения сфалерита, галенита, сульфоарсенидов и теллуридов никеля, теллуридов и антимонидов висмута и палладия и самородное золото.

Пентландит является главным никельсодержащим минералом сплошных и прожилково-вкрапленных руд, ассоциирует с пирротин и халькопиритом и нередко содержит в своем составе кобальт (до 1 %), медь (до 9 %) и серебро (до 12 %) (табл. 7). Он образует самостоятельные выделения размером от 1–2 мкм до 10 и более миллиметров. Как и пирротин, пентландит замещается виоляритом (табл. 6), однако эти процессы проявлены только в зоне окисления руд.

Сфалерит встречается только в халькопирите в виде мелких выделений изометричной формы. В его

Таблица 6. Средние составы рудных минералов из массивных и прожилково-вкрапленных рудопроявлений Квинумского рудного поля [20].

Элемент	Пирротин (n=92)	Халькопирит (n=53)	Пентландит (n=44)	Никелин (n=53)	Герсдорфит (n=34)	Сульфоарсенид никеля (n=7)	Мелонит (теллурид никеля) (n=2)	Лёллингит (n=3)	Садбериит (n=3)	Майчнерит (n=5)	Сперрилит (n=8)	Самородное золото (n=7)	Виолярит (n=24)
Fe	59.14	30.40	29.13	1.04	1.54	0.39	0.35	28.21	0.47	-	-	1.84	21.99
Ni	1.83	0.14	37.38	45.20	34.22	31.12	16.83	0.31	-	0.74	-	-	31.88
Co	-	-	0.42	0.14	0.29	0.08	0.60	-	-	-	-	-	0.88
Cu	-	35.11	-	-	-	6.52	-	1.77	-	-	0.40	1.48	-
S	39.19	34.54	32.90	0.29	18.80	63.44	-	71.83	-	-	0.37	-	39.96
As	-	-	-	55.02	45.49	-	-	-	-	-	42.97	-	-
Sb	-	-	-	0.22	0.24	-	0.29	-	52.03	1.65	-	-	-
Bi	-	-	-	-	-	-	-	-	1.18	44.89	-	-	-
Te	-	-	-	0.16	0.13	-	82.24	-	0.78	27.55	-	-	-
Pd	-	-	-	-	-	-	-	-	44.76	22.68	-	-	-
Pt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54.27	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.55	-
Au	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85.52	-
Сумма	100.16	100.19	99.83	101.55	100.71	101.55	100.31	102.12	99.22	97.50	98.01	101.40	99.70

Примечание. n – число анализов. Сульфоарсенид никеля принадлежит к минералам лёллингит-сафлорит-раммельсбергитового ряда. Виолярит – вторичный минерал, замещающий пирротин, пентландит и меньше халькопирит.

Таблица 7. Представительные микронзондовые анализы кобальт-, медь- и серебросодержащего пентландита рудных залежей Квинумского рудного поля.

Элемент	Кобальтсодержащий пентландит				Медьсодержащий пентландит		Серебросодержащий пентландит			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fe	26.22	27.04	28.95	28.37	28.35	28.71	32.22	34.10	33.12	33.39
Ni	39.44	38.39	36.89	36.08	31.06	27.04	20.42	20.82	20.67	21.60
S	32.68	33.00	32.46	32.77	33.11	33.55	31.85	31.81	31.72	31.35
Co	0.91	0.93	1.10	1.30	0.41	0.35	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	6.34	9.50	2.21	0.80	1.56	0.23
Ag	-	-	-	-	-	-	12.09	11.84	12.00	12.38
Сумма	99.25	99.35	99.40	98.52	99.27	99.15	99.79	99.37	99.07	98.95

Таблица 8. Представительные микронзондовые анализы сфалерита и галенита сульфидных руд рудопроявлений Квинумского рудного поля.

Элемент	Сфалерит					Галенит		
	1	2	3	4	5	6	7	8
Fe	6.75	8.60	8.53	8.60	8.77	1.42	0.30	0.51
S	33.91	33.18	32.29	33.33	33.20	12.76	12.42	13.12
Zn	59.82	52.99	54.14	53.54	51.41	-	-	-
Cu	0.94	1.96	1.00	1.83	2.21	-	-	-
Cd	-	2.88	2.99	3.20	3.53	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	84.83	82.43	85.83
Bi	-	-	-	-	-	-	3.58	-
Сумма	101.42	99.61	98.95	100.50	99.12	99.01	98.73	99.46

составе отмечается незначительная примесь меди и кадмия (табл. 8).

Галенит в сульфидных рудах распространен достаточно широко, но никогда не образует значительных скоплений. Как и сфалерит, он встречается только в виде очень мелких (до 10–20 мкм) включений в халькопирите, ассоциируя также с теллуридами никеля. Более крупные кристаллы галенита наблюдаются только среди силикатных минералов кортландитов. Иногда в галените отмечается примесь висмута (табл. 8).

Кроме пентландита, никельсодержащими минералами в рудах являются сульфоарсениды (герсдорфит и Со-герсдорфит, содержащий до 16.4 % кобальта, а также минералы из группы леллингит-сафлорит-раммельсбергитового ряда), арсениды (никелин) и теллуриды (мелонит) никеля (табл. 6). **Мелонит** впервые установлен в рудах рудопроявления Квинум-1 и ранее в медно-никелевых рудах Камчатки не отмечался [20]. **Никелин** обладает довольно выдержанным составом (табл. 6), но может содержать незначительную примесь Sb (до 0.22 %), Te (до 0.16 %) и Со (до 0.14 %). **Герсдорфит** и **Со-герсдорфит** обычно наблюдаются в виде каемок вокруг зерен никелина или минералов леллингит-сафлорит-раммельсбергитового ряда. Все эти минералы,

а также антимониды (**садбериит**), теллуровисмутиды (**майченерит**) палладия и **теллуровисмутит** приурочены к апикальным частям залежей сплошных сульфидных руд и зонам их перехода в прожилково-вкрапленные руды. Реже они наблюдаются в породах контактового ореола в виде мельчайших (около 10–30 мкм) таблитчатых зерен, приуроченных к халькопириту [20].

Основным платиносодержащим минералом руд является арсенид платины – **сперрилит** (табл. 6), но количественно он резко уступает по распространенности антимонидам и теллуровисмутидам палладия, являющимся главными минералами металлов платиновой группы рудопроявлений Квинумского рудного поля [20].

Самородное золото обычно для изученных сульфидных медно-никелевых руд и приурочено к участкам, обогащенным арсенидами и теллуридами никеля, палладия и висмута. Золото представлено мелкими (5–20 мкм) пластинчатыми выделениями в халькопирите, является довольно высокопробным и содержит примесь меди и железа (табл. 6). Повышенное содержание железа и меди обусловлено, вероятно, небольшими размерами зерен золота и возбуждением (захватом) этих элементов из вмещающего их халькопирита [20].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Группа сульфидных медно-никелевых рудопроявлений, расположенных в южной части Срединного хребта Камчатки примерно в 130 км к северо-западу от Петропавловска-Камчатского и объединенных в Дукук-Кувалорог-Квинумский рудный узел площадью около 500 км², является по прогнозным оценкам одним из крупнейших объектов Камчатки на сульфидное платиноидно-медно-никелевое оруденение [3, 16, 20, 24]. Наиболее продуктивным на промышленное сульфидное оруденение является Квинумское рудное поле.

Прожилково-вкрапленные и сплошные медно-никелевые руды рудопроявлений Квинум-1 и Квинум-2 Квинумского рудного поля локализованы в амфиболовых перидотитах – кортландитах, образуя в перидотит-габброидных расслоенных массивах невыдержанные по простиранию рудные залежи мощностью от первых десятков сантиметров до 5–20 м. Массивы характеризуются пластообразной формой и отчетливой расслоенностью от кортландитов в основании через их плагиоклазовые разновидности к габброноритам и клинопироксен-амфиболовым габбро в кровле. Массивы прорывают обогащенные органикой метаморфизованные осадочные породы хейванской свиты и камчатской серии позднего мела и содержат большое количество ксенолитов вмещающих пород, что обуславливает широкое распространение в интрузивных образованиях графита и незначительную окисленность железа их породообразующих минералов (из оксидов встречается только ильменит).

Главные рудные минералы массивных и прожилково-вкрапленных руд – пирротин, пентландит и халькопирит при резко подчиненном количестве пирита, сфалерита, галенита, арсенопирита и лёллингита. Кроме пентландита, никельсодержащими минералами в рудах являются сульфоарсениды (герсдорфит), арсениды (никелин) и теллуриды (мелонит) никеля [20].

Платиноидная минерализация приурочена к верхним частям залежей сплошных сульфидных руд, к зоне перехода к прожилково-вкрапленным рудам и реже наблюдается в породах контактового ореола. Эти же интервалы рудных тел, обогащенных арсенидами и теллуридами никеля, палладия и висмута, содержат высокопробное самородное золото. В центральных частях рудных залежей содержание платиноидов и золота незначительно. Платиноидная минерализация представлена антимонидами (садбериит) и теллуrowисмутитами (майченерит) палладия, количественно преобладающими в

рудах, при резко подчиненном развитии арсенида платины (сперрилита).

Предполагается, что концентрация главных сульфидных минералов и продуктивность платиноидной минерализации рудных залежей в кортландитах обусловлена сложными процессами магматической дифференциации и сульфуризации дифференциатов ультраосновной магмы под воздействием флюидов, концентрирующихся на фронте кристаллизации массивов и вызывающих расслоение исходных магм с различным содержанием в них серы [10, 11]. Следствием расслоения базит-гипербазитовых массивов под флюидным воздействием является и контрастное разделение платиновых металлов, отражающее неравномерность распределения серы в процессе расслаивания расплавов. Для хромитоносной гипербазитовой формации офиолитовых комплексов характерна иридий-рутений-осмиевая минерализация, сменяющаяся платиновой, а затем и палладиевой в массивах базитовой формации [10]. Эта смена платиновых металлов отвечает последовательному возрастанию химического сродства металлов к сере (а также мышьяку и другим элементам) согласно коэффициентам их распределения между сульфидным и базитовым расплавами. Продуктивность платиновой минерализации значительно увеличивается с повышением во флюидах, обуславливающих в интрузивах развитие жидкостной несмесимости, роли серы, мышьяка, теллура и висмута, к которым платина и особенно палладий имеют высокое химическое сродство.

Так как кристаллизация изученных расслоенных массивов Квинумского рудного поля распространяется снизу вверх, поэтому наиболее богатая платиноидная минерализация приходится на верхние части массивных руд рудных залежей кортландитовых тел и зону перехода к прожилково-вкрапленным рудам, аналогично, например, рифу Меренского в Бушвельдском массиве [8, 10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для медно-никелевых рудопроявлений Квинум-1 и Квинум-2 Квинумского рудного поля, относящихся к наиболее перспективным объектам на медно-никелево-платиноидное оруденение Срединного хребта Камчатки, приведены детальные данные по геологии, минералогии вмещающих метаморфических пород, минералогии сульфидных руд и по распределению в рудах платиноидной минерализации.

Установлено, что прожилково-вкрапленные и сплошные медно-никелевые руды приурочены к ам-

фиболовым перидотитам – кортландитам, образуя в расслоенных кортландит-габброидных массивах дукского интрузивного комплекса позднего мела невыдержанные по простиранию рудные залежи прожилково-вкрапленных и массивных руд мощностью от первых десятков сантиметров до 5–20 м. Сплошные сульфидные руды обнаружены только в донных частях кортландитовых тел, сменяясь вверх по разрезу прожилково-вкрапленными и вкрапленными рудами.

Показано, что главными рудными минералами рудных залежей являются пирротин, халькопирит и пентландит при резко подчиненном количестве пирита, сфалерита, галенита, арсенопирита и лёллингита. Кроме пентландита, к никельсодержащим минералам руд принадлежат сульфоарсениды (герсдорфит), арсениды (никелин) и теллуриды (мелонит) никеля.

Установлено, что платиноидная минерализация, представленная антимонидами (садбериит) и теллуросмугитами (майченерит) палладия, количественно преобладающими в медно-никелевых рудах при резко подчиненном развитии арсенида платины (сперрилита), приурочена к апикальным частям залежей сплошных сульфидных руд и зоне перехода в прожилково-вкрапленные руды. Рудные интервалы, обогащенные арсенидами и теллуридами никеля, палладия и висмута, содержат высокопробное самородное золото. В центральных частях рудных залежей содержание платиноидов и самородного золота незначительно.

Предполагается, что концентрация главных сульфидных минералов и продуктивность платиноидной минерализации рудных залежей в кортландитах обусловлена сложными процессами магматической дифференциации и сульфуризации дифференциатов ультраосновной магмы под воздействием флюидов, концентрирующихся на фронте кристаллизации массивов и вызывающих расслоение исходных магм с различным содержанием в них серы [10, 11]. Следствием расслоения базит-гипербазитовых массивов под флюидным воздействием является и контрастное разделение платиновых металлов, отражающее неравномерность распределения серы (а также мышьяка, теллура и висмута) в процессе расслаивания расплавов. Продуктивность платиновой минерализации значительно увеличивается с повышением во флюидах, обуславливающих в интрузивах развитие жидкостной несмесимости, роли серы, мышьяка, теллура и висмута, к которым платина и особенно палладий имеют высокое химическое сродство.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю признательность сотруднику Территориального агентства по недропользованию по Камчатской области и Корякскому автономному округу В.И. Сидоренко за помощь при изучении геологии медно-никелевых рудопроявлений Квинумского рудного узла Камчатки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авченко О.В. Минеральные равновесия в метаморфических породах и проблемы геобарометрии. М.: Наука, 1990. 182 с.
2. Биотит-гранат-кордиеритовые равновесия и эволюция метаморфизма / Л.Л.Перчук, И.В.Лаврентьева, Л.Я.Аранович, К.К.Подлесский. М.: Наука, 1983. 198 с.
3. Горячев Н.А., Родионов С.М., Раткин В.В. и др. Металлогенические пояса и рудные районы Востока России. Квинумский металлогенический пояс. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 2 / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. 841 с.
4. Зимин С.С. Формация никеленосных роговообманковых базитов Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1973. 90 с.
5. Карта полезных ископаемых Камчатской области м-ба 1:500 000 / Ред. А.Ф. Литвинова, М.Г. Патока, Б.А. Марковского и др. СПб: ВСЕГЕИ, 1999.
6. Конников Э.Г., Чубаров В.М., Травин А.В. и др. Время проявления никеленосной норит-кортландитовой формации на востоке Азиатского континента // Геохимия. 2006. № 5. С. 564–570.
7. Лаврентьева И.В., Перчук Л.Л. Фазовое соответствие в системе биотит-гранат: экспериментальные данные // Докл. АН СССР. 1981. Т. 260, № 3. С. 731–734.
8. Лазаренков В.Г., Петров С.В., Таловина И.В. Месторождения платиновых металлов. СПб: Недра, 2002. 298 с.
9. Ланда Э.А., Марковский Б.А., Беляцкий Б.В. и др. Возраст и изотопные особенности альпинотипных зональных расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексов Камчатки // Докл. РАН. 2002. Т. 385, № 6. С. 812–815.
10. Маракушев А.А. Происхождение месторождений платиновых металлов и их экспериментальное моделирование. Платина России. Т. II. Кн. 1. / Ред. В.П.Орлов. М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1995. С. 49–63.
11. Маракушев А.А., Панях Н.А., Зотов И.А. и др. Медно-никелевое месторождение Джиньчуань в Китае и зависимость платиноносности гипербазитов от их щелочности // Геология руд. месторождений. 1998. Т. 42, № 5. С. 440–458.
12. Мишкин М.А. Метаморфизм в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану. М.: Наука, 1981. 196 с.
13. Округин В.М., Полетаев В.А., Чубаров В.М.. Шанучское рудное поле. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 2. / Ред. А.И.Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 575–576.
14. Перчук Л.Л. Равновесия породообразующих минералов. М.: Наука, 1970. 392 с.

15. Плюснина Л.П. Экспериментальное исследование метаморфизма базитов. М.: Наука, 1983. 159 с.
16. Полетаев В.А. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения и рудопроявления перидотит-пироксенит-норитовой формации Центральной Камчатки. Платина России. Т. III. Кн. 2 / Ред. В.П. Орлов. М.: ЗАО "Геоинформмарк", 1999. С. 191–199.
17. Полетаев В.А. Практика геолого-экономической оценки прогнозируемых месторождений комплексных сульфидных медно-никелевых руд Центральной Камчатки // В.И. Гончаров (ред.), Геодинамика, магматизм и минерализация континентальных окраин Севера Пацифики: Материалы Всерос. совещ., Магадан, 3–6 июня 2003 г. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 3. С. 187–188.
18. Соловьев А.В. Изучение тектонических процессов в областях конвергенции литосферных плит методами трекового датирования и структурного анализа: Автореф. дисс... д-ра геол.-минер. наук. М., 2005. 49 с.
19. Чубаров В.М. Цинксодержащие шпинели никеленосных базитовых интрузий Центральной Камчатки. Новые данные по петрологии магматических и метаморфических пород Камчатки / Ред. Ю.А. Мартынов. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 157–167.
20. Чубаров В.М. Игнатьев Е.К., Москалева С.В. и др. Медно-никелевое рудопроявление Квинум-1 в кортландитах южной части Срединного хребта Камчатки // Докл. РАН. 2005. Т. 403, № 2. С. 231–236.
21. Щека С.А., Чубаров В.М. Никеленосные кортландиты Камчатки // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987. № 12. С. 50–61.
22. Щека С.А., Вржосек А.А. Платиноносность базит-гипербазитовых комплексов Дальнего Востока России. Платина России. Т. III. Кн. 1 / Ред. В.П. Орлов. М.: ЗАО "Геоинформмарк", 1999. С. 66–75.
23. Leake B.E. Nomenclature of amphiboles // *Canad. Miner.* 1978. V. 16, N 4. P. 501–520.
24. Nokleberg W.J., Miller R.J., Naumova V.V. et al. Project on Mineral Resources, Metallogensis, and Tectonics of Northeast Asia. USGS Open File Report 03-203, Menlo Park, California, 2003. CD-ROM publications. Internet address: <http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of03-203>.
25. Ravna E.K. Distribution of Fe²⁺ and Mg between coexisting garnet and hornblende in synthetic and natural systems: an empirical calibration of the garnet-hornblende Fe-Mg geothermometer // *Lithos.* 2000. V. 53, N 3–4. P. 265–277.

Поступила в редакцию 6 июня 2006 г.

Рецензент А.А. Маракушев

I.A. Tararin, V.M. Chubarov, E.K. Ignatyev, S.V. Moskaleva

The geological position, mineralogy, and platinoide mineralization of copper-nickel occurrences of the Kvinum ore field, Sredinny Ridge of Kamchatka

Comprehensive data on the geology, mineralogy of enclosing metamorphic rocks, mineralogy of sulfide ores, and distribution of platinoide mineralization in ores have been collected for the Kvinum-1 and Kvinum-2 copper-nickel occurrences of the Kvinum ore field (Sredinny Ridge of Kamchatka) that are promising for copper-nickel-platinoide mineralization. Stringer-disseminated and massive copper-nickel ores are recognized to be confined to amphibole peridotites – cortlandites. They form in persistent in strike beds of stringer-disseminated and massive ores (the first tens of cm to 5-20 m thick) in the layered cortlandite-gabbroid massifs.

It is shown that the main sulfide minerals are pyrrhotite, chalcopyrite, and pentlandite occasionally accompanied with pyrite, sphalerite, galena, arsenopyrite and löllingite. Besides pentlandite, the nickel-bearing minerals in ores are sulfoarsenides (gersdorffite), arsenides (niccolite), and tellurides (melonite) of nickel. PGE mineralization was established to be confined to the uppermost parts of the beds of massive sulfide ores and to the zone of transition into stringer-disseminated ores. It is represented by antimonides (sudburyite) and tellurobismuthides (michenerite) of palladium, predominating quantitatively in the copper-nickel ores with strongly subordinate amounts of platinum arsenide (sperrylite). The ore intervals are enriched in arsenides and tellurides of nickel, palladium, and bismuth, and also contain high-standard native gold. Concentrations of the main sulfide minerals as well as PGE productivity of ore lodes in cortlandites are suggested to be controlled by complicated processes of magmatic fractionation and sulfurization of derivatives of ultramafic magma under the influence of fluids being concentrated on the front of crystallization of massifs that provoked layering of primary magma. The layering of basite-ultrabasite massifs under the influence of fluids is responsible also for contrasting separation of PGE that reflects the irregular sulfur distribution (as well as arsenic, tellurium, and bismuth distribution) in the process of stratification of melts. The PGE productivity increases appreciably with fluid enrichment in sulfur, arsenic, tellurium, and bismuth with the fluids governing the development of liquid immiscibility in the intrusives. Platinum and especially palladium have a close chemical relationship with these components.

Key words: copper-nickel-platinoide mineralization, Kvinum-1 and Kvinum-2 occurrences, Kheivanskaya suite, Kamchatkaya and Kolpakovskaya series, Sredinny Ridge, Kamchatka.