

УДК 553.481 (571.66)

ПЕНТЛАНДИТЫ И АВАРУИТЫ ГИПЕРБАЗИТОВОГО МАССИВА ГОРЫ СОЛДАТСКОЙ (п-ов КАМЧАТСКИЙ МЫС, ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

©2014 Р.М. Новаков¹, С.В. Москалева², В.В. Иванов³, С.В. Паламарь¹

¹Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683002; e-mail: brom6@mail.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

³Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, 690022

С массивами гипербазитов п-ова Камчатский Мыс связаны два разных типа минеральных ассоциаций, содержащих пентландит и аваруит, в которых эти минералы отличаются по химическому составу и по особенностям генезиса. В первой аваруит развивается по магматогенному пентландиту. Процесс замещения происходил в восстановительных условиях, возможно, на заключительном этапе магматического процесса, до начала гидротермальных преобразований. Во второй ассоциации аваруит сингенетичен пентландиту и оба минерала формировались в процессе серпентинизации преимущественно никельсодержащих силикатных минералов (оливинов).

Ключевые слова: Камчатка, пентландит, аваруит, минеральная ассоциация, генезис, серпентинизация, вебстериты.

ВВЕДЕНИЕ

Сульфидные и самородные минералы никеля на п-ове Камчатский Мыс (другое название — п-ов Камчатский, Восточная Камчатка) исследовались В.А. Нодия, В.В. Караманом, В.А. Полетаевым и др.¹, М.Е. Бояриновой (2007), С.В. Высоцким (1989), Д.П. Савельевым (2014а, 2014б) в ходе проведения геологосъемочных, поисковых и научных работ. Наиболее распространенные пентландиты и аваруиты связаны с гипербазитами в составе офиолитового комплекса пород, включающего также вебстериты, пироксениты, габбро, долериты и вулканогенно-осадочные образования ранне-позднемиоценового возраста. В результате интенсивных тектонических дислокаций офиолитовый разрез разбит на изолированные фрагменты, часть которых прак-

тически полностью сложена ультраосновными породами (рис. 1). В пределах наиболее крупного блока гипербазитов — массива горы Солдатской, установлены два типа минеральных ассоциаций, содержащих одновременно пентландит и аваруит. Первый тип обнаружен в коренных породах на северном склоне г. Голой в связи с никелево-медной с платиноидами и золотом минерализацией (Бояринова, 2007; Новаков и др., 2012). Здесь аваруит ассоциирует с пентландитом, медно-никелевыми сульфидами и самородной медью. Второй тип установлен при проведении шлихового опробования небольшого левого притока р. Белой, в 150 м к северо-западу от пункта минерализации г. Голой. Он представлен зернами аваруита с пентландитом, хизлевудитом, орселитом и магнетитом. Присутствие одинаковых минеральных видов в различных ассоциациях позволяет уточнить особенности формирования рудных минералов в гипербазитах полуострова.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рудная минерализация изучена в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН с применением оптических методов, рентгено-

¹Производственный отчет в Камчатском филиале федерального бюджетного учреждения «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу»: Нодия В.А., Караман В.В., Полетаев В.А., Околова Э.С., Округин В.М. Отчет о результатах опытно-методических работ по опробованию рыхлых отложений в бассейне руч. Стланникового, Бабушкина и извлечению платиноидов в 1984–85 г.г. (Усть-Камчатский р-н), 1985. 400 с.

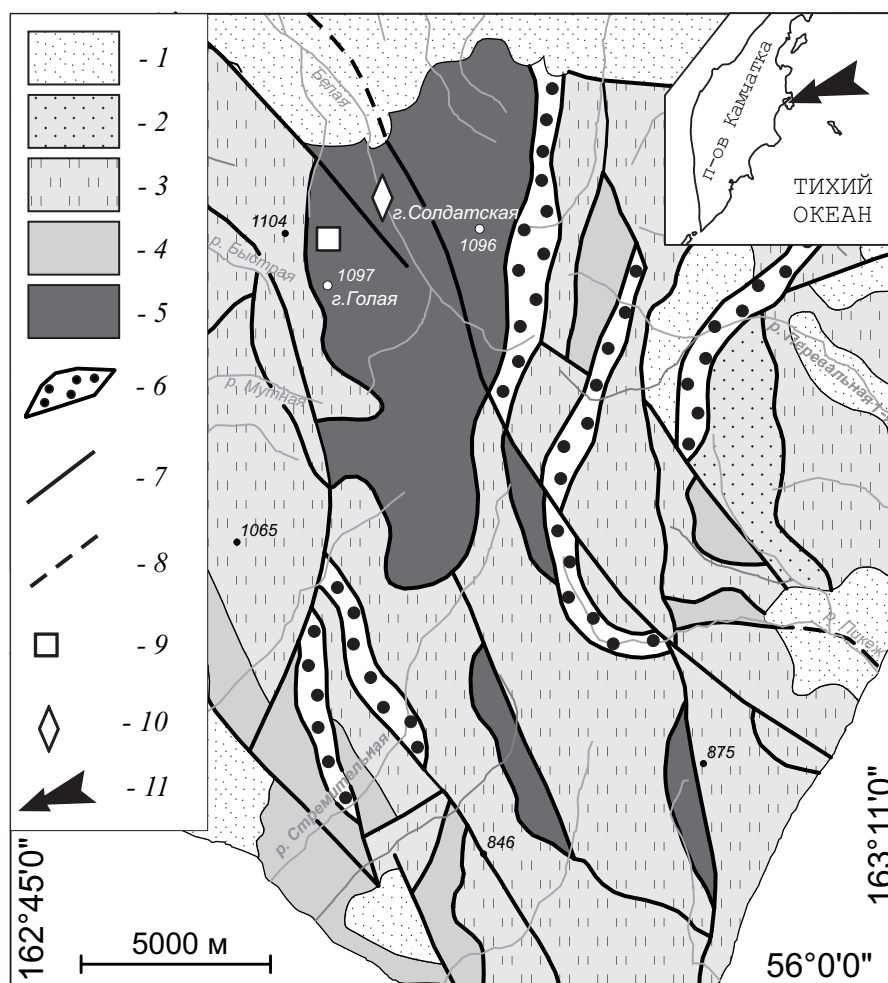


Рис. 1. Обзорная схема геологического строения (по (Бояринова, 2007), с изменениями): 1 – рыхлые и слаболитифицированные плиоцен-четвертичные отложения (морские, аллювиально-морские, аллювиальные, флювиогляциальные); 2 – верхнемеловые песчаники пикежской свиты; 3–5 – офиолитовая ассоциация: 3 – нижне-верхнемеловые вулканогенно-кремнистые отложения смагинской свиты; 4 – габброиды; 5 – протрузии гипербазитов; 6 – полимиктовый и мономиктовый серпентинитовый меланж; 7 – разрывные нарушения установленные; 8 – разрывные нарушения предполагаемые; 9 – место находки вебстеритов с медно-никелевой минерализацией; 10 – место отбора шлиховой пробы с зернами аваруита; 11 – местоположение района исследований (на врезке).

спектральных микроанализаторов JXA-8100 и Camebax 244 (с волновыми спектрометрами и энергетическим спектрометром X-Max80), а также аналитических сканирующих электронных микроскопов EVO 50XVP (с системой INCA Energy 350) и VEGA-3 (с энергетическим спектрометром X-Max50).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Коренные выходы оливиновых вебстеритов, несущих сульфидно-самородную минерализацию с пентландитом, аваруитом, самородной медью, платинистой медью и золотом, представляют собой локальные участки неправильной формы среди вмещающих гарцбургитов размером от десятков сантиметров до первых метров. Обособления вебстеритов развиты на площади примерно 100×100 м на северном склоне

г. Голы (рис. 1). При широком распространении склоновых осыпей установить морфологию вебстеритовых тел крайне затруднительно. Не исключено, что они близки к жильным разностям ультрамафитов, которые в нашем случае не имеют характерных ограничений. Отсутствие выраженных контактовых изменений позволяет рассматривать вебстериты в качестве фациальной разности в составе пород офиолитового комплекса.

Вебстериты с рудной минерализацией сложены энстатитом (до 70–80%), форстеритом (до 10%), диопсидом (до 10–15%), сульфидами (до 5–10%) и акцессорными хромшпинелидами (до 1%). Серпентин выполняет редкие тонкие прожилки в породе (Бояринова и др., 2007; Новаков и др., 2012). В сульфидных фазах количественно преобладает никель, в самородных – медь.

Сульфиды образуют цепочки тонких

(до 10 мкм) зерен в породообразующих ортопироксенах (рис. 2а) и относительно крупные (до 5–7 мм) самостоятельные выделения (рис. 2б). В цепочках преобладает пентландит, отмечается халькопирит. Крупные выделения в различных соотношениях сложены пентландитом ($\text{Fe}_{5,7}\text{Ni}_{3,3}\text{S}_8$) и минералами, сходными с ним по составу, но с повышенным содержанием меди, вероятно, тетрагональными сугакиитом $\text{Cu}(\text{Fe}, \text{Ni})_8\text{S}_8$ и гороманиитом $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Cu})_9\text{S}_8$ (Kitakaze, 2008, 2011). Аваруит (Ni_2Fe , рис. 2в) развивается по крупным зернам, сложенным преимущественно пентландитом, замещая его вдоль трещин (рис. 2в, 2г).

Помимо указанных минералов, в вебстеритах широко представлена самородная медь, которая развивается по краям выделений пентландита, образует дендриты в трещинах сульфидных и силикатных минералов (рис. 2в, 2д, 2е). Отмечено зерно сложного состава, образованное медно-никелевыми минералами (предположительно, гороманиитом и сугакиитом), троилитом, халькопиритом, параллельными срастаниями кубанита и халькопирита, а также тонкими сульфидно-оксидно-силикатными агрегатами, в которых диагностированы серпентин, магнетит, халькопирит, халькозин, макинавит, ковеллин, оксиды и гидроксиды железа. В сростке установлены самородные фазы, представленные твердыми растворами системы Cu-Pt со средним содержанием платины 29 мас. %, иногда с незначительной примесью палладия (до 1.15 мас.%), ассоциирующие с теллуридом. Установлена фаза с теллуrom, висмутом и палладием размером менее 5 мкм, развивающаяся вдоль просечки серпентина. В ортопироксенах оливиновых вебстеритов отмечены тончайшие (13 мкм) выделения высокопробного золота (Новаков и др., 2012).

Зерна аваруита (Ni_3Fe) из рыхлых отложений левого притока р. Белой окатаны и деформированы (рис. 3а, 3б, 3в). Содержат округлые выделения орселита, а также хизлевудита, пентландита ($\text{Fe}_{4,7}\text{Ni}_{3,7}\text{Co}_{0,6}\text{S}_8$) (рис. 3г, 3д, 3е) и их срастания (рис. 3е). Характерны выделения сульфидов в виде субграфических вростков (вероятно структуры распада твердого раствора), которые обычно замещены агрегатами оксидов и гидроксидов железа (рис. 3ж). Иногда в аваруите отмечаются очень тонкие выделения самородной меди. Уайаруит образует оторочки толщиной до 5 мкм по внешней части зерен аваруита (рис. 3в) или вдоль контактов микровключений пентландита (толщиной 1–2 мкм, рис. 3к). Редко по внешнему краю отмечаются тонкие (2–3 мкм) обогащенные никелем гипергенные каймы (рис. 3з). Одно из зерен представляет собой агрегат аваруита и орселита, обрастающий магнетитом (рис. 3л).

Зерно разбито трещинами, по которым развивается серпентин. Иногда в аваруите встречаются волокнистые вростки серпентина (рис. 3е, 3и). В одном из аваруитовых зерен установлено единичное включение самородного осмия размером около 1 мкм (рис. 3м).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Происхождение аваруита и пентландита в представленных минеральных ассоциациях различно, несмотря на присутствие одинаковых («сквозных») минеральных видов и относительную близость точек отбора проб. На это указывают особенности состава минералов и последовательность минералообразования.

Химические составы сульфидов, арсенидов и самородных фаз приведены в табл. 1, 2 и 3. Сосуществующие пентландиты и аваруиты в оливиновых вебстеритах отличаются более высоким содержанием железа и отсутствием кобальта (табл. 4). Отношение Fe/Ni в пентландитах оливиновых вебстеритов составляет в среднем 1.66; в пентландитах из рыхлых отложений — 1.07.

Последовательность минералообразования, восстановленная по соотношениям минеральных фаз, представлена в табл. 5. Помимо «сквозных» пентландита, аваруита, серпентина и магнетита, для первой ассоциации (в вебстеритах) характерны минералы меди, а для второй — кобальта и мышьяка. В оливиновых вебстеритах пентландит содержит больше железа и является субстратом, по которому развивается железистый аваруит. При этом, серпентинизация в породе проявлена слабо, серпентин развивается по отдельным редким трещинам и не обнаруживает отчетливых соотношений с аваруитом. Напротив, в зернах из рыхлых отложений характерны срастания аваруита и серпентина.

Генезис. Исследователи отмечают широкий диапазон условий, при которых возможно образование пентландита. Он встречается в высокотемпературных сульфидных медно-никелевых месторождениях и в кимберлитах. Магматический генезис предполагается для пентландитов из сульфидных глобулей пикритов, найденных в зоне серпентинитового меланжа к востоку от гипербазитового массива г. Солдатской (Савельев, 2014а, 2014б). Низкотемпературный пентландит известен в серпентинизированных гипербазитах (Годовиков, 1983) и в подводных гидротермальных образованиях (Мозгова и др., 2005). Формирование аваруитовой минерализации обычно связывают с серпентинизацией и преобразованиями никельсодержащих силикатов, прежде всего оливина, а также находящихся с ними в парагенезисе сульфидов при темпера-

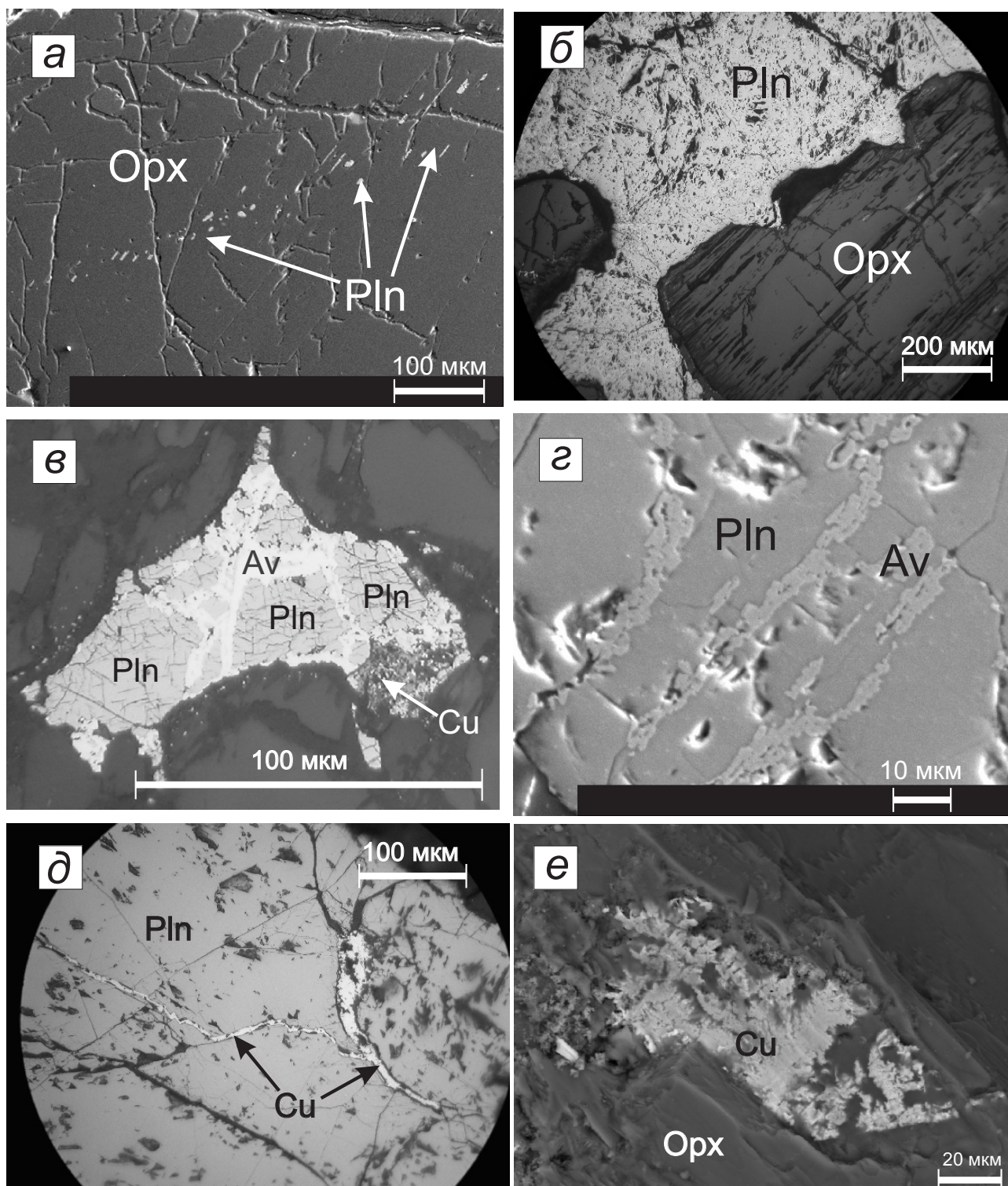


Рис. 2. Морфология выделений рудных минералов в оливиновых вебстеритах: *а* – цепочка тонких выделений сульфидов (светлое) в ортопироксене (Orpx); *б* – соотношения относительно крупных ксеноморфных выделений пентландита (Pln) с идиоморфными ортопироксенами. *в, г* – замещение пентландита вдоль трещин аваруитом (Av): *в* – частично замещенный аваруитом (светлое) пентландит, по краю зерна – самородная медь (Cu); *г* – характер замещения пентландита аваруитом вдоль трещин отдельности – выделения аваруита (светло-серое) разрастаются от трещин; *д, е* – характер выделений самородной меди: *д* – самородная медь по трещинам в пентландите; *е* – дендриты самородной меди по трещинам спайности в ортопироксене. Фото *а, г* – сделано на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100. Фото *б, в, д* – в отраженном свете. Фото *е* – в отраженных электронах, сканирующий электронный микроскоп Zeiss EVO 50XVP.

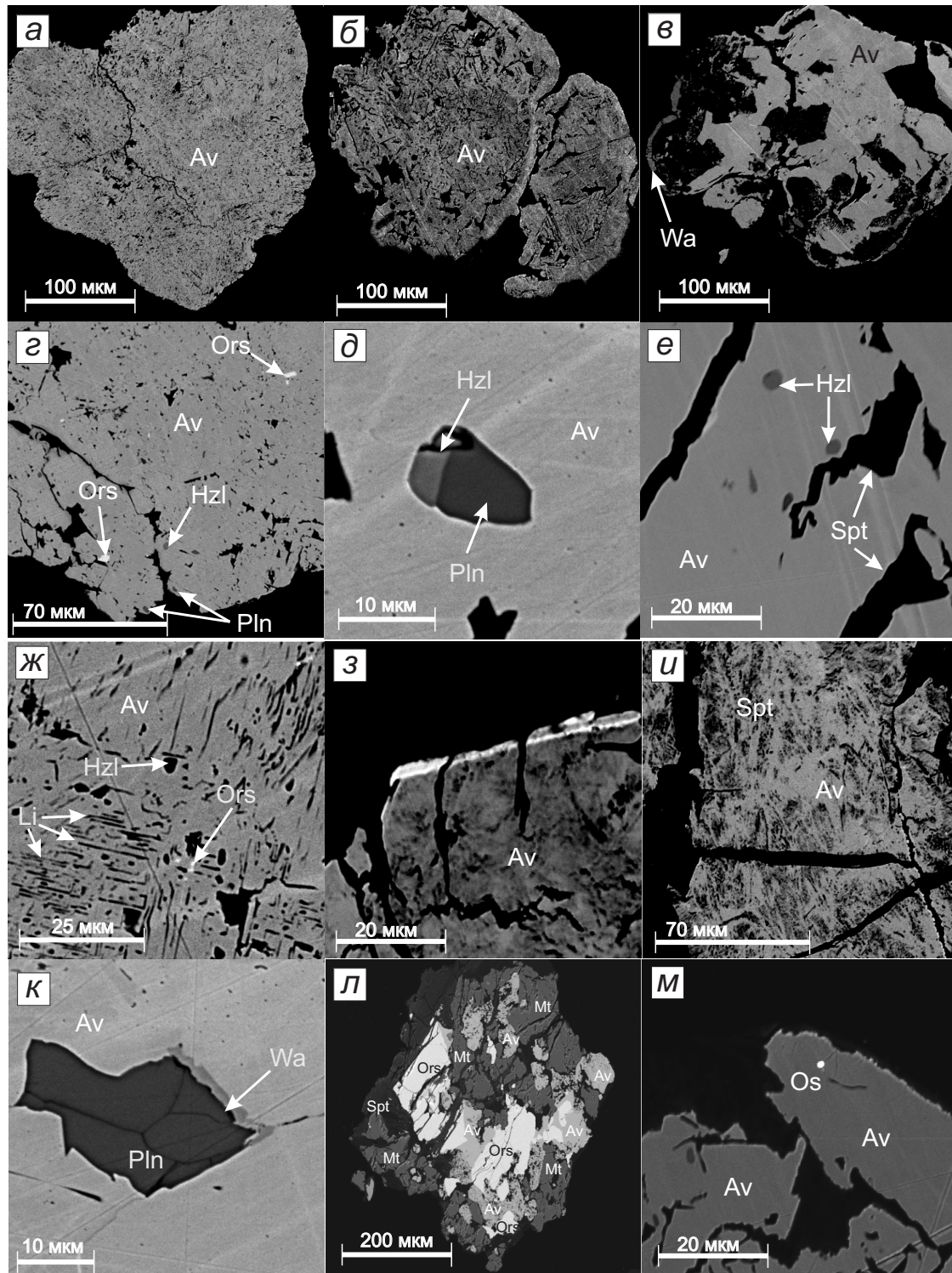


Рис. 3. Зерна аваруита из рыхлых отложений левого притока р. Белой: *а, б, в* – морфология зерен аваруита: *а, б* – морфология зерен в целом; *в* – зерно аваруита с каймой уайаруита (Wa) по краю зерна. *г, д, е, ж* – включения пентландита, хизлевудита (Hzi), орселита (Ors), серпентина (Spt) и гидроксидов железа (вероятно, лимонит – Li) в аваруите: *г, д* – округлые включения сульфидов и орселита в аваруите; *е* – округлые включения хизлевудита и выделения серпентина в аваруите; *ж* – округлые включения хизлевудита и орселита в аваруите, гидроксиды железа замещают неизвестные сульфиды в структурах распада; *з* – кайма обогащенная никелем (светлое) по внешней части зерна аваруита; *и* – срастание аваруита (светлое) с волокнистым серпентином (темное); *к* – включения пентландита в аваруите, по краю включения – кайма уайаруита; *л* – агрегат магнетита (Mt), аваруита, орселита и силикатов магния (серпентин ?); *м* – включение самородного осмия (Os, ярко-белое) в аваруите (серый). Фото *а, б, в, з, и, л, м* сделаны на рентгеноспектральном микроанализаторе Camebax 244. Фото *г, д, е, ж, к* – в отраженных электронах, сканирующий электронный микроскоп VEGA-3.

ПЕНТЛАНДИТЫ И АВАРУИТЫ

Таблица 1. Представительные составы пентландита из разных минеральных ассоциаций (масс.%).

№ пп	1	2	3	4	5	6	7
Fe	40.24	40.76	40.94	42.44	42.66	41.35	39.92
Ni	25.18	24.94	25.75	23.61	23.28	24.97	25.97
Co	—	—	—	—	—	—	—
Cu	0.07	0.07	—	—	—	—	—
S	34.27	34.70	32.81	33.00	33.09	32.60	32.72
Сумма	99.76	100.47	99.50	99.04	99.03	98.92	98.62
Fe/Ni	1.60	1.63	1.59	1.80	1.83	1.66	1.54
№ пп							
Fe	33.69	34.74	34.40	32.53	25.35	33.03	32.79
Ni	32.13	29.90	29.42	27.83	29.86	29.05	34.22
Co	6.35	2.88	4.63	7.09	12.68	4.42	—
Cu	—	—	—	—	—	—	—
S	28.97	33.37	33.82	32.59	32.66	34.04	33.56
Сумма	101.14	100.89	102.27	100.03	100.56	100.55	100.57
Fe/Ni	1.05	1.16	1.17	1.17	0.85	1.14	0.96

Примечание. Составы пентландитов: 1-7 – в оливиновых вебстеритах (аналитик Г.Б. Молчанова); 8-14 – в зернах аваруита из тяжелой фракции аллювия (аналитик С. В. Москалева).

Таблица 2. Представительные составы самородных фаз с никелем и кобальтом из разных минеральных ассоциаций (масс.%).

№ пп	1	2	3	4	5	6
Fe	34.98	28.74	32.12	25.94	24.96	25.32
Ni	64.00	70.36	66.57	73.47	74.28	75.05
Co	—	—	—	—	—	1.27
Сумма	98.98	99.10	98.69	99.41	99.24	101.64
№ пп						
Fe	25.30	25.15	51.34	52.17	55.41	
Ni	75.22	75.41	6.27	4.52	—	
Co	1.01	—	42.98	44.47	44.02	
Сумма	101.53	100.56	100.60	101.20	99.43	

Примечание. Составы аваруитов: 1-3 – в оливиновых вебстеритах (аналитик Г.Б. Молчанова); 4-8 – в зернах из тяжелой фракции аллювия (аналитик С. В. Москалева); 9-11 – составы уайрауита из зерен тяжелой фракции аллювия (аналитик С. В. Москалева).

Таблица 3. Химический состав орселита и хизлевудита в зернах аваруита из тяжелой фракции аллювия (масс.%).

№ пп	1	2	3	4	5	6
Fe	0.51	0.83	—	4.18	—	—
Ni	66.39	62.2	72.94	72.02	72.66	75.1
Sb	—	0.51	—	—	—	—
As	34.82	34.79	—	—	—	—
S	—	—	26.10	25.22	27.18	26.62
Сумма	101.72	98.33	99.04	101.41	99.84	101.72

Примечание: 1, 2 – орселит; 3-6 – хизлевудит (аналитик С. В. Москалева).

Таблица 4. Особенности химического состава пентландита и аваруита из разных минеральных ассоциаций (масс.%).

Минеральная ассоциация	оливиновые вебстериты		зерна аваруита из тяжелой фракции аллювия	
минерал	пентландит	аваруит	пентландит	аваруит
Fe	39.92-42.66 41.19	28.74-34.98 31.95	25.35-34.74 32.36	24.96-25.94 25.33
Ni	23.28-25.97 24.81	64.00-70.36 66.98	27.83-34.22 30.34	73.47-75.41 74.69
Co	—	—	2.88-12.68 6.34	До 1.27
Cu	До 0.07	—	—	—
S	32.60-34.70 33.31	—	28.97-34.04 32.72	—
Fe/Ni	1.54-1.83 1.66	0.41-0.55 0.48	0.85-1.17 1.07	0.33-0.35 0.34

Примечание: в числителе — минимальные и максимальные содержания, в знаменателе — среднее.

Таблица 5. Схема последовательности минералообразования.

Минеральная ассоциация	генезис				
	Магматический	гидротермальный			Гипергенное изменение
		высоко-среднетемпературный		низкотемпературный	
Никелево-медная минерализация в оливиновых вебстеритах	пентландит				
	медно-никелевые сульфиды				
		серпентин			
		аваруит			
	самородное золото				
			магнетит		
			троилит		
			халькопирит		
			кубанит		
			макинавит		
			самородная медь		
			платинистая медь		
			фазы с теллуrom, висмутом и палладием		
				халькозин	
				ковеллин	
					теллуриит
					гидроксиды железа
Зерна аваруита из рыхлых отложений		серпентин			
		аваруит			
		пентландит			
		хизлевудит			
		орселит			
		самородный осмий			
			магнетит		
			уайаруит		
					гидроксиды железа

Примечание. Выделены минералы, присутствующие в обеих ассоциациях.

турах порядка 300-500°C в восстановительных условиях (Леснов 2010; Рамдор, 1967; Сидоров, 1987, 2012; Черкасова, 2010). Б.А. Базылев (2000) предполагает, что в перидотитах океана образование аваруита и ассоциирующих сульфидов (пентландита и хизлевудита) происходило на ранних стадиях перекристаллизации пород под действием просачивающейся океанической воды еще до начала их серпентинизации. Вместе с тем, формирование аваруита возможно и из исключительно сульфидных фаз. Это подтверждают данные экспериментальных исследований — при нагреве в восстановительной обстановке во всех газовых средах в диапазоне температур 800-950°C одним из продуктов восстановления пентландита является ферроникелевый сплав (Ерцева и др., 1997).

Формирование сульфидно-самородной минерализации в оливиновых вебстеритах не связано исключительно с гидротермальными процессами. Цепочки тонких часто округлых выделений сульфидов ранней генерации, сложенных преимущественно пентландитом, внутри крупных ортопироксенов (рис. 2а) предполагают их образование на магматической стадии в результате захвата сульфидной жидкости растущими кристаллами силикатов. Этому не противоречат соотношения более поздних крупных ксеноморфных выделений пентландита с идиоморфными ортопироксенами (рис. 2б).

Возможно, что аваруит начал замещать пентландит по трещинам в на заключительном этапе магматического процесса до начала гидротермальных изменений пород. Это подтверждается слабой степенью серпентинизации вебстеритов и экспериментальными данными (Ерцева и др., 1997). Гидротермальными преобразованиями обусловлены развитие и перераспределение самородных фаз меди и платинистой меди, различных халькогенидов с теллуrom, висмутом и палладием, а также магнетита и макинавита.

В зернах из тяжелой фракции рыхлых отложений срастания аваруита с волокнистым серпентином подчеркивают связь рудной минерализации с процессами гидратации силикатов в восстановительной обстановке. При этом, аваруит, пентландит, хизлевудит и орселит, судя по их соотношениям, возможно, сингенетичны и являются более ранними фазами относительно магнетита, который обрастает аваруит и арсениды в результате их окисления. Уайрауит формировался позднее аваруита, но его соотношения с магнетитом не установлены. Выделение самородного осмия представляет собой или более раннюю фазу, обрастающую аваруитом, или сформировалось вместе с ним при перераспределении платиноидов в ходе

серпентинизации. Обогащенная никелем кайма на зернах аваруита образовалась в результате гипергенных процессов.

Полученные данные согласуются с результатами исследований ассоциаций сульфидных минералов в альпинотипных гипербазитах Урала, где в неизменных и лизардитизированных породах и хромитовых рудах были установлены различные генерации сульфидов (Макеев, 1992). В неизменных разностях наиболее распространен пентландит и его разности с повышенным содержанием меди, а также пирит, троилит и халькопирит. При этом, отмечается железо-медно-никелевая металлогеническая специализация сульфидной минерализации. В серпентинизированных породах и рудах преобладают хизлевудит и пентландит, установлены также пирит, миллерит, годлевскит, орселит. Для сульфидов никеля и железа характерна изоморфная примесь кобальта. В минеральной ассоциации отсутствуют сульфиды, содержащие медь. При этом, медь присутствует в самородной фазе. Минералообразование происходило в процессе серпентинизации (лизардитизации) гипербазитов при температуре 400-200°C в восстановительной среде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с гипербазитами Камчатского Мыса установлены два типа рудных минеральных ассоциаций с пентландитом и аваруитом различного состава и генезиса. В оливиновых вебстеритах пентландиты и аваруиты отличаются более железистым составом, отсутствием кобальта и ассоциацией с минералами меди, а также с менее распространенными фазами, содержащими теллур и висмут. Для аваруитов и пентландитов из тяжелой фракции рыхлых отложений характерна примесь кобальта и ассоциация с уайрауитом и орселитом.

В оливиновых вебстеритах аваруит развивается по пентландиту, который является отчетливо более ранним минералом магматического генезиса. Слабая степень серпентинизации пород и данные экспериментальных исследований позволяют предполагать, что процесс замещения пентландита аваруитом начался на заключительном этапе магматического процесса до начала серпентинизации. В зернах из рыхлых отложений аваруит, возможно, сингенетичен пентландиту и оба минерала формировались в процессе серпентинизации преимущественно никельсодержащих силикатных минералов (оливинов). С процессами гидратации гипербазитов связано перераспределение платины и палладия, а также, возможно, осмия.

Список литературы

- Базылев Б.А.* Развитие аваруит-содержащей минеральной ассоциации в перидотитах из зоны разлома 15°20' (Атлантический океан) как одно из проявлений океанического метаморфизма // Российский журнал наук о Земле. 2000. Т. 2. № 3/4. С. 279-293, (URL: <http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/v02/rje00045/rje00045.htm>).
- Бояринова М.Е.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Камчатская. Лист О-58-XXVI, XXXI, XXXII (Усть-Камчатск). СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007.
- Бояринова М.Е., Вешняков Н.А., Коркин А.Г., Савельев Д.П.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Камчатская. Лист О-58-XXVI, XXXI, XXXII (Усть-Камчатск). Объяснительная записка, под ред. Б.А. Марковского. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 226 с.
- Высоцкий С.В.* Минералогические критерии магматического генезиса ультрабазитов офиолитовых ассоциаций (на примере Восточной Камчатки) // Новые данные по петрологии магматических и метаморфических пород Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1989. С. 134-156.
- Годовиков А.А.* Минералогия. М.: Недра, 1983. 647 с.
- Ерцева Л.Н., Дьяченко В.Т., Сухарев С.В.* Восстановительная термообработка пентландита из пирротинсодержащего медно-никелевого сульфидного сырья // Цветные металлы. 1997. № 6. С. 24-26.
- Леснов Ф.П.* Аваруитовая рудная минерализация в Чайском сульфидном медно-никелевом месторождении (Северное Прибайкалье) // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья». Улан-Удэ, 2010. С. 120-122.
- Макеев А.Б.* Эволюция минеральных парагенезисов альпинотипных ультрабазитов Урала. Автореф. дисс. докт. геол.-мин. наук. Санкт-Петербург, 1992. 46 с.
- Мозгова Н.Н., Фардуст Ф., Бородаев Ю.С., Трубкин Н.В.* Пентландит из черных курильщиков гидротермальных полей Рейнбоу и Логачев (изоморфизм и нестехиометрия) // Записки Российского минералогического общества. № 1. 2005. С. 69-81.
- Новаков Р.М., Иванов В.Б., Трухин Ю.П.* Находка золото-платинидно-медно-никелевой минерализации в оливиновых вебстеритах п-ова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) // Материалы конференции «Никеленосные провинции Дальнего Востока». Петропавловск-Камчатский, 2012. С. 47-52.
- Рамдор П.* О широко распространенном парагенезисе рудных минералов, возникающих при серпентинизации // Геология рудных месторождений. 1967. № 2. С. 32-43.
- Савельев Д.П., Филофова Т.М.* Магматические сульфиды в пикритах п-ова Камчатский Мыс // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». ИВиС ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский, 2014. С. 1-7.
- Савельев Д.П.* Плагиоклазовые пикриты п-ова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2014. № 4. С. 1-11.
- Сидоров Е.Г.* Самородные никелевые металлы в гипербазитах // ДАН. 1987. Т. 295. № 6. С. 1456-1459.
- Сидоров Е.Г., Козлов А.П., Толстых Н.Д.* Гальмознанский базит - гипербазитовый массив и его платиноносность. М.: Научный Мир, 2012. 286 с.
- Черкасова Т.Ю.* Геолого-генетическая модель образования и потенциальная рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов Нижне-дербинского комплекса (Восточный Саян). Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Томск, 2010. 21 с.
- Kitakaze A.* Sugakiite, $\text{Cu}(\text{Fe},\text{Ni})_8\text{S}_8$, a new mineral from Hokkaido, Japan // Canadian Mineralogist, 2008. V. 46 (1), P. 263-267.
- Kitakaze A., Itoh H., Komatsu R.* Horomanite, $(\text{Fe},\text{Ni},\text{Co},\text{Cu})_9\text{S}_8$, and samaniite $\text{Cu}_2(\text{Fe},\text{Ni})_7\text{S}_8$ new mineral species from the Horoman peridotite massif, Hokkaido, Japan // Journal of Mineralogical and Petrological Sciencs, 2011. V. 106 (4), P. 204-210.

**PENTLANDITE AND AWARUITE FROM ULTRAMAFIC MASSIF OF MOUNT
SOLDATSKAYA, THE KAMCHATKA PENINSULA CAPE (KAMCHATKA)**

R.M. Novakov¹, S.V. Moskaleva², V.V. Ivanov³, S.V. Palamar¹

*¹Research Geotechnological Center Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002;*

*²Institute of Volcanology and Seismology Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006;*

*³Far East Geological Institute Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (FEGI FEB RAS),
Vladivostok, 690022*

Blocks of ultrabasites in the Kamchatsky Mys peninsula relate to two different types of mineral associations containing pentlandite and awaruite, in which these minerals differ in chemical composition and genesis peculiarities. In the first association awaruite develops on pentlandite, which is definitely an earlier mineral. The process of displacement occurred under conditions of reduction, possibly before serpentinization. In the second association, awaruite is idiogenous to pentlandite, and both minerals were formed during serpentinization process of predominantly nickel silicate minerals (olivine).

Keywords: Kamchatka, pentlandite, awaruite, mineral association, genesis, serpentinization, websterite.