

НОВЫЕ ДАННЫЕ О БЛЕКЛЫХ РУДАХ ВИЛЮЧИНСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

© 2025 К.О. Шишканова

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006;
e-mail: lvod@kscnet.ru*

Поступила в редакцию 28.05.2025; после доработки 01.10.2025; принята в печать 25.12.2025

Представлены результаты исследования типоморфных характеристик минералов группы блеклых руд Вилючинского золото-серебро-полиметаллического рудопроявления, расположенного в Южно-Камчатском горнорудном районе. На основании изучения особенностей химического состава с помощью сканирующей электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа установлено, что блеклые руды представляют собой сложные соединения, отличающиеся значительными вариациями и количественными соотношениями слагающих их химических элементов. Изученные блеклые руды образуют следующие минеральные ассоциации: блеклово-рудно-кварцевую, сульфидно-блекловорудно-кварцевую и блекловорудно-золото-теллуридно-селенидно-кварцевую. Блекловорудно-кварцевая ассоциация сложена непосредственно минералами — блеклые руды и кварц; в сульфидно-блекловорудно-кварцевой выделяются халькопирит, пирит, галенит, халькозин, блеклые руды и кварц; блеклые руды, теллуриды Au, Ag, селениды Ag, Pb и кварц составляют блекловорудно-золото-теллуридно-селенидно-кварцевую минеральную ассоциацию. По соотношению основных минералообразующих элементов выделены три минеральных разновидности: теннантиты, тетраэдриты и голдфилдиты, а также две между-видовых и семь внутривидовых разновидностей. Полученные данные могут быть использованы для выяснения закономерностей эволюции химического состава рудогенерирующих растворов и расшифровки физико-химических условий образования руд.

Ключевые слова: Камчатка, теннантит, теннантит-тетраэдрит, голдфилдит, золото-серебряная минерализация.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Камчатки известно около 400 золоторудных месторождений, рудопроявлений и точек минерализации, которые расположены в пределах четырех разновозрастных вулканических поясов (Каталог..., 1999).

По мнению автора, одним из наиболее перспективных для развития экономики полуострова считается Южно-Камчатский горнорудный район, включающий крупные золото-серебряные и золото-серебро-полиметаллические месторождения, а также ряд многочисленных золоторудных проявлений, в том числе и Вилючинское.

Основные геологоразведочные работы на территории рудопроявления, включающие проходку канав, траншей и бурение скважин, были

проведены геологами ОАО «Камчатгеология» в период 1976–1991 гг. Тем не менее, имеющихся сведений, касающихся минералогии руд и вмещающих пород, недостаточно для понимания условий его образования.

Первые сведения о минеральном составе руд Вилючинского рудопроявления были представлены в работе (Округин и др., 2017). Они показали, что руды Вилючинского рудопроявления характеризуются сложным минеральным составом, а именно: сочетание минеральных ассоциаций классического жильного кварц-золото-адуляр-серицитового низкосульфидного типа с ассоциациями высокосульфидного; большим количеством теллуридов, селенидов, многообразием блеклых руд и наличием соединений висмута. Значительное влияние процессов гипергенеза привело к образованию многочис-

ленных оксидов и появлению новых для региона гипергенных минералов, типа симплезита.

В настоящей статье приведены новые данные по изучению блеклых руд: показаны их типоморфные характеристики, микроморфология, микроструктура, степень однородности-неоднородности, отличия химического состава из различных минеральных ассоциаций и выделены их разновидности с использованием классического метода — оптической микроскопии и современного — сканирующей электронной микроскопии.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

Вилучинское золото-серебро-полиметаллическое рудопроявление находится в южной части полуострова Камчатка на водоразделе рек Паратунка — Левая Карымчина (рис. 1).

Оно располагается в зоне сочленения Восточно-Камчатского и Центрально-Камчатского вулканических поясов с Малко-Петропавловской зоной поперечных сбросо-глыбовых дислокаций, которая характеризуется интенсивной магматической (вулканической) и гидротермальной деятельностью (Петренко, 1999; Шеймович, 2000). Здесь находятся такие действующие вулканы, как Мутновский, Горелый, разнообразные по своему составу и возрасту гидротермальные системы Мутновская, Вилучинская (Петренко, 1999).

По данным (Лоншаков и др., 1981¹; Сляднев и др., 2006) в геологическом строении Вилучинского золото-серебро-полиметаллического рудопроявления принимают участие полифациальные вулканические, интрузивные, вулканотерригенные образования олигоцен-четвертичного возраста. Рудовмещающие представлены туфами и покровами андезитов, прорванные субвулканическими интрузиями габбродиоритов и дайками андезитов, дацитов. Ограничено развиты пострудные плиоценовые субвулканические тела андезитов.

Руды характеризуются классическим гидротермальным золото-серебряным минеральным типом и представлены кварц-карбонат-адуляровыми жилами с неравномерным распределением рудных минералов (Петренко, 1999).

В пределах рудопроявления развита Вилучинская рудоносная зона шириной около 500 м

и протяженностью 3 км. Наиболее перспективными для изучения и оценки экономического потенциала рудопроявления представляют жильная зона Регина, мощностью от 5–30 м, длиной около 2 км и жила № 9, пространственно сопряженная с зоной Регина (Каталог..., 1999; Петренко, 1999).

Как и большинство гидротермальных вулкано-генных золото-серебро-полиметаллических объектов южной Камчатки, руды Вилучинского рудопроявления обладают сравнительно широким разнообразием текстур. Ведущая роль среди них принадлежит вкрапленным, брекчиевые и брекчиевидные не уступают в своем развитии, а к наиболее эффективным относятся полосчатая,



Рис. 1. Схематическая карта расположения рудопроявления Вилучинское.

Fig. 1. Schematic map of the location of the Viluchinskoe ore occurrence.

¹Лоншаков Е.А., Трещин Н.Н., Петраченко Я.В. Отчет по теме: «Составление карты золотоносности Вилучинско-Гольцовской зоны Южно-Камчатского рудного района масштаба 1:50000 (северная часть района). Петропавловск-Камчатский: Камчатский филиал ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Дальневосточному федеральному округу», 1981. 283 с.

колломорфно-полосчатая, кокардовая разновидности (Округин и др., 2017).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При изучении коллекции образцов золото-серебро-полиметаллических руд из канав и траншей центральной части жильной зоны Регина, отобранных автором в период полевых работ, а также материала из жилы № 9, любезно предоставленный В.М. Округиным, использовались следующие методы исследования: оптическая микроскопия и сканирующая электронная микроскопия в Институте вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН. В оптической микроскопии применялись прецизионные автоматизированные микроскопы Axioskop 40 (Carl Zeiss, Германия), Eclipse LV 100 pol (Nikon, Япония) с цифровыми камерами для фотодокументации форм, размеров и взаимоотношений блеклых руд с другими минералами. Исследования химического состава и структурных особенностей осуществлялись с помощью сканирующей электронной микроскопии на приборе Vega 3 Tescan (Чехия) с энергодисперсионным, волновым спектрометрами X-тах и площадью кристалла 50 мм².

Измерения проводились при высоком вакууме 2,9–0,9e⁻⁰⁰⁵ мбар, ускоряющем напряжении 20 кВ, токе пучка 1 нА. Как для образцов, так и для стандартов применялись представительные спектры с суммарным числом импульсов 2–5 млн. Для детального анализа структуры и составов минералов использовалось программное обеспечение Aztec Oxford Instruments, версия 3.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авторские исследования позволили существенно расширить список минералов, в особенности группы блеклых руд Вилючинского рудопоявления по сравнению с последними опубликованными данными (Округин и др., 2017). Изученные блеклые руды по распространенности относятся к второстепенным гипогенным минералам. Совместно с другими рудными минералами и кварцем они образуют следующие ассоциации: блекловорудно-кварцевую, сульфидно-блекловорудно-кварцевую, блекловорудно-золото-теллуридно-селенидно-кварцевую.

Минералогические исследования, посредством изучения аншлифов в отраженном свете, показали, что блеклые руды обладают разнообразными формами выделения: от изометричных, овальных, до удлиненных и ксеноморфных, а их цвет меняется от светло-серого, кремового, до более бурого.

Размеры блеклых руд варьируют от первых мкм до 3–5 мм. Они формируют единичные включения, мелкие гнезда, микропрожилки, линзы, тонкие прослойки. Нередко минеральные выделения блеклых руд формируют относительно крупные скопления, состоящие из нескольких зерен или слоев. Такие обособления могут образовывать достаточно крупные агрегаты размером 5–10 мм, которые формируют как самостоятельные выделения в халцедоновидном кварце (блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация), так и сростания с пиритом, халькопиритом, реже — галенитом, халькозином, (сульфидно-блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация), теллуридами Au, Ag и селенидами Au, Pb (блекловорудно-золото-теллуридно-селенидно-кварцевая минеральная ассоциация). Для блеклых руд характерны структуры типа эндогенных краевых каемок, когда они цементируются по микротрещинам катаклазированные зерна пирита или халькопирита.

Исследования показали, что блеклые руды Вилючинского рудопоявления отличаются неоднородным строением. По типу зональности это: пятнистая, мозаично-блоковая и многофазная структуры. При увеличениях в 10–25 мкм в агрегатах данных минералов можно наблюдать несколько фаз, отличающихся контрастной интенсивностью (рис. 2). Такая структура обусловлена неравномерным распределением слагающих их химических элементов.

Согласно имеющихся классификаций блеклых руд (Мозгова и др., 1983; Спиридонов, 1984), которые базируются на соотношении главных элементов-полуметаллов: мышьяк, сурьма, теллур, блеклые руды Вилючинского рудопоявления разделены на три минеральных вида: мышьяковистый (теннантиты), сурьмянистый (тетраэдриты), теллуристый (голдфилдиты) (рис. 3).

При равных количествах или при преобладании какого-либо химического элемента (мышьяк, сурьма, висмут, теллур) выделяются несколько междувидовых разновидностей: теннантит-тетраэдрит, теннантит-аннивит-тетраэдрит и голдфилдит-теннантит-тетраэдрит, а также целый ряд внутривидовых разновидностей. Расчет кристаллохимических формул осуществлялся на 29 формульных единиц (ф.е.), описанный в работах (Булах, 1967; Мозгова и др., 1983). Химический состав блеклых руд приведен в таблице.

Блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация. Блеклые руды этой ассоциации представлены, в основном, теннантитами, тетраэдритами и реже — теннантит-тетраэдритами (таблица). Теннантиты и тетраэдриты чаще формируют слабозональные и практически незональные

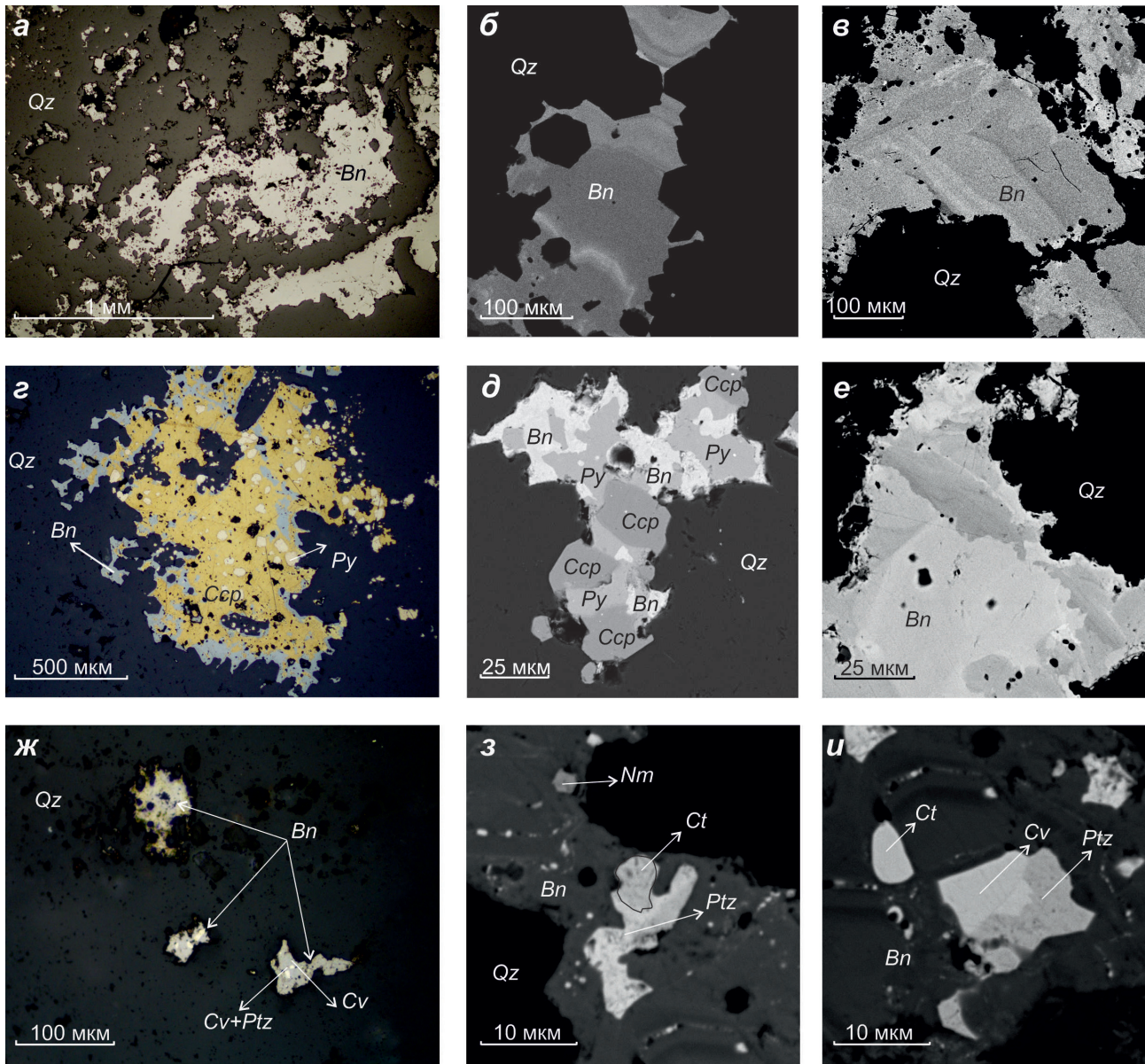


Рис. 2. Особенности внутреннего строения и взаимоотношения блеклых руд в различных минеральных ассоциациях: *a–в* — блеклые руды в интерстициях кварца и их представительное неоднородное строение (блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация); *г–е* — блеклые руды в сростаниях с различными рудными минералами, *е* — зональное строение агрегата блеклых руд, обусловленное неоднородностью их химического состава. Самые яркие зоны, почти белые, обогащены висмутом (сульфидно-блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация); *ж–и* — включения теллуридов и селенидов в агрегатах блеклых руд (блекловорудно-золото-теллуридно-кварцевая минеральная ассоциация). Фото *a, г, ж* сделаны с помощью оптического микроскопа в отраженном свете, остальные фото выполнены в режиме обратно рассеянных электронов на сканирующем электронном микроскопе. Аббревиатуры: Bn — блеклые руды, Py — пирит, Ccp — халькопирит, Cv — калаверит, Ptз — петцит, Ct — клаусталит, Nm — науманнит, Qz — кварц.

Fig. 2. Features of the internal structure and relationships of fahlores in various mineral associations: *a–в* — fahlores in interstices of quartz and their representative heterogeneous structure (fahlore-quartz mineral association); *г–е* — fahlores in intergrowths with various ore minerals; *е* — zonal structure of a fahlore aggregate, caused by heterogeneity of its chemical composition. The brightest zones, almost white, are enriched with bismuth (sulfide-fahlore-quartz mineral association); *ж–и* — inclusions of tellurides and selenides in fahlore aggregates (fahlore-gold-telluride-quartz mineral association). Photos *a, г, ж* were taken using an optical microscope in reflected light, the remaining photos were taken using backscattered electron (BSE) mode on a scanning electron microscope. Abbreviations: Bn — fahlores, Py — pyrite, Ccp — chalcopyrite, Cv — calaverite, Ptз — петцит, Ct — клаусталит, Nm — naumannite, Qz — quartz.

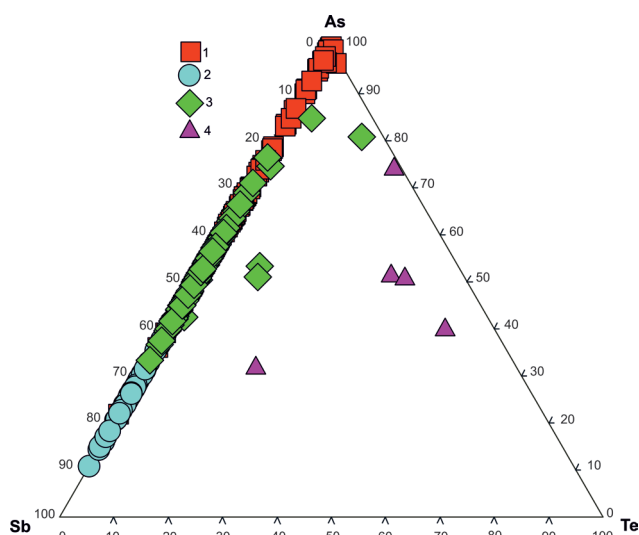


Рис. 3. Диаграмма составов блеклых руд Вилючинского рудопоявления: 1 — теннантиты; 2 — тетраэдриты; 3 — теннантит-тетраэдриты; 4 — голдфилдиты, голдфилдит-теннантит-тетраэдриты.

Fig. 3. Diagram of compositions of fahlores: 1 — tennantites; 2 — tetrahedrites; 3 — tennantite-tetrahedrites; 4 — goldfieldites, goldfieldite-tennantite-tetrahedrites.

выделения, тогда, как теннантит-тетраэдритовые агрегаты, напротив, отличаются сложной структурой — мозаично-блоковой и устойчивой многофазной зональностью.

Теннантиты характеризуются наличием Ag — до 0.30 ф.е. и более низкими содержаниями Cu ~ 9.82 ф.е., повышенными количествами Zn и Fe — до 1.77 и 1.68 ф.е., соответственно (таблица). В единичных случаях зафиксированы примеси Te, V и Se — до 0.10, 0.02 и 0.03 ф.е., соответственно. Для некоторых теннантитов примечательны примеси индия до 0.26 ф.е. (таблица). При этом, такие теннантиты отличаются избыточным содержанием Cu до 11.82 ф.е., при полном отсутствии Ag и Zn, малыми концентрациями Fe до 0.42 ф.е. и Mn до 0.10 ф.е.

Для тетраэдритов блекловорудно-кварцевой минеральной ассоциации свойственны повышенные содержания As. Вместе с блеклыми рудами смешанного состава содержат практически постоянно Ag, при среднем значении меди ~ 9.83–10.00 ф.е. Обе разновидности отличаются повышенными количествами Zn и низкими Fe.

Таким образом, среди минералов данной ассоциации выделяются: Zn-теннантиты, Fe-теннантиты, In-содержащие Fe-теннантиты, Te-содержащие Zn-теннантиты, (In, Se)-содержащие Fe-теннантиты, Zn-тетраэдриты, Ag-содержащие Zn-тетраэдриты, Ag-содержащие Zn-теннантит-тетраэдриты (таблица).

Сульфидно-блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация. Блеклые руды этой ассоциации представлены теннантитами, тетраэдритами

и блеклыми рудами смешанного состава: теннантит-тетраэдритами, теннантит-аннивит-тетраэдритами (таблица).

Как и в блекловорудно-кварцевой минеральной ассоциации Вилючинского рудопоявления, смешанные блеклые руды здесь также обладают неоднородным микростроением, которое проявляется в срастании нескольких минеральных фаз неправильной формы или мозаично-блоковой структурой.

Химический состав теннантитов характеризуется значениями Cu — до 10.83 ф.е. и As — до 3.94 ф.е. В некоторых зернах фиксируются незначительная примесь Ag — до 0.09 ф.е. (таблица).

В свою очередь, для тетраэдритов характерно наличие Ag с наиболее высокими концентрациями — 0.67 ф.е. и средними количествами Cu — 10 ф.е. (таблица).

Цинк находится во всех блеклых рудах данной ассоциации, но наибольшие его значения обнаружены в тетраэдритах — 2.00 ф.е. Железо также присутствует повсеместно во всех разновидностях. Максимальные значения — 2.57 ф.е. установлены в теннантит-тетраэдритах (таблица).

В сульфидно-блекловорудно-кварцевой минеральной ассоциации выявлены блеклые руды с высокими до 0.80 ф.е. концентрациями Bi, что позволяет выделить теннантит-аннивит-тетраэдритовую межвидовую разновидность. Кроме того, для блеклых руд ряда теннантит-аннивит-тетраэдрит характерны примеси Te — до 0.69 ф.е. (таблица).

Авторские исследования показали, что в рассматриваемой ассоциации представлены следующие минералы группы блеклых руд: Zn-теннантиты, Zn-тетраэдриты, Ag-содержащие Zn-тетраэдриты, Zn-теннантит-тетраэдриты, Fe-Zn-теннантит-тетраэдриты, Te-содержащий теннантит-аннивит-тетраэдриты (таблица).

Блекловорудно-золото-теллуридно-селенидно-кварцевая минеральная ассоциация. Данную ассоциацию образуют голдфилдиты и их междувидовые разновидности, отличающиеся исключительным разнообразием химического состава и микроструктурных особенностей по сравнению с блекловорудно-кварцевой и сульфидно-блекловорудно-кварцевой минеральными ассоциациями.

Голдфилдиты и их разновидности встречаются в виде мелких, ксеноморфных, мономинеральных обособлений в срастании с халькопиритом, теллуридами, селенидами Au, Ag, Pb. В отраженном свете характеризуются более светлыми оттенками серого цвета, чем остальные разновидности блеклых руд.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О БЛЕКЛЫХ РУДАХ

Химический состав (в вес. %) и кристаллохимические формулы блеклых руд рудопроявления Вилучинское
Chemical composition (wt. %) and crystallochemical formulas of fahlores of the Viluchinskoye ore occurrence

п.п/х.э.	As	Sb	Cu	S	Fe	Zn	In	Ag	Mn	Cd	Se	Te	Bi	Сумма
Блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация														
1	14.55	10.13	42.25	27.43	0.62	7.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	102.60
2	16.98	4.17	40.33	29.96	6.47	3.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.13
3	16.69	0.06	50.11	27.98	1.23	0.00	1.97	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.20	98.48
4	18.44	0.30	43.68	28.98	3.73	5.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.21	101.88
5	16.71	0.15	50.51	27.76	1.08	0.00	1.40	0.00	0.28	0.00	0.15	0.00	0.06	98.10
6	4.28	23.64	39.06	25.53	0.00	7.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.38
7	1.62	21.62	38.16	25.20	0.48	6.66	0.00	4.31	0.00	0.21	0.00	0.00	0.03	98.29
8	13.87	9.54	42.23	26.84	1.05	6.25	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.66
Сульфидно-блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация														
9	20.07	0.95	47.13	27.79	2.52	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.46
10	12.95	7.39	42.78	26.87	0.60	6.80	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.02
11	6.05	21.35	39.11	26.02	0.00	8.12	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.38
12	1.62	21.62	38.16	25.20	0.48	6.66	0.00	4.31	0.00	0.21	0.00	0.00	0.03	98.29
13	4.37	14.18	37.26	27.33	9.24	5.08	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.35
14	9.57	0.32	39.09	25.24	4.11	4.50	0.00	2.90	0.00	0.00	0.00	5.42	10.31	101.46
Блекловорудно-золото-теллуридно-селенидно-кварцевая минеральная ассоциация														
15	3.24	6.31	44.52	22.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.74	18.79	0.00	99.59
16	7.38	2.78	46.54	25.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.22	0.00	98.11
17	4.50	6.16	44.65	24.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.02	16.69	0.00	98.36
Кристаллохимические формулы														
Минеральные виды и разновидности														
Блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация														
1	[Cu ⁺ _{9,96} (Zn _{1,77} Fe _{0,117}) _{1,94}](As _{2,93} Sb _{1,25}) _{4,18} ⁺ S _{12,93}													
2	[Cu ⁺ _{9,17} (Zn _{0,72} Fe _{1,68}) _{2,40}](As _{3,30} Sb _{0,50}) _{3,79} S _{13,63}													
3	[Cu ⁺ _{10,00} (Cu ²⁺ _{1,80} Fe _{0,33} Mn _{0,07} In _{0,26}) _{12,46}](As _{3,35} Sb _{0,01} Bi _{0,01}) _{3,37} ⁺ S _{13,14}													
4	[Cu ⁺ _{9,90} (Zn _{1,27} Fe _{0,97}) _{2,24}](As _{3,57} Sb _{0,04} Te _{0,10} Bi _{0,01}) _{3,72} ⁺ S _{13,14}													
5	[Cu ⁺ _{10,00} (Cu ²⁺ _{1,92} Fe _{0,29} Mn _{0,08} In _{0,18}) _{12,47}](As _{3,37} Sb _{0,02}) _{3,39} ⁺ S _{13,14} Se _{0,03}													
6	[Cu ⁺ _{9,94} Zn _{1,97}](As _{0,93} Sb _{3,16}) _{4,09} ⁺ S _{13,00}													

Таблица. Окончание

Кристаллохимические формулы		Минеральные виды и разновидности
<i>Блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация</i>		
7	$[(Cu^{+}_{9,33}Ag_{0,67})_{10,00}(Cu^{2+}_{0,63}Zn_{1,71}Fe_{0,14}Cd_{0,03})_{2,51}](Sb_{2,96}As_{0,36})_{3,32}S_{13,16}$	Ag-содержащий Zn-тетраэдрит
8	$[(Cu^{+}_{9,87}Ag_{0,13})_{10,00}(Cu^{2+}_{0,28}Zn_{1,48}Fe_{0,29})_{2,05}](Sb_{2,85}As_{1,20})_{4,05}S_{12,91}$	Ag-содержащий Zn-теннантит-тетраэдрит
<i>Сульфидно-блекловорудно-кварцевая минеральная ассоциация</i>		
9	$[Cu^{+}_{10,00}(Cu^{2+}_{0,83}Zn_{0,66}Fe_{2,17})_{12,17}(As_{3,94}Sb_{0,11})_{4,05}S_{12,78}$	Zn-теннантит
10	$[(Cu^{+}_{9,91}Ag_{0,09})_{10,00}(Cu^{2+}_{0,50}Zn_{1,63}Fe_{0,17})_{2,30}](As_{2,69}Sb_{0,94})_{3,63}S_{13,07}$	Zn-теннантит
11	$[(Cu^{+}_{9,78}Ag_{0,22})_{10,00}(Cu^{2+}_{0,11}Zn_{1,89}Fe_{0,11})_{2,00}](As_{2,80}Sb_{0,20})_{3,00}S_{13,02}$	Zn-тетраэдрит
12	$[(Cu^{+}_{9,33}Ag_{0,67})_{10,00}(Cu^{2+}_{0,63}Zn_{1,71}Fe_{0,14}Cd_{0,03})_{2,51}](As_{0,36}Sb_{2,96})_{3,32}S_{13,16}$	Ag-содержащий Zn-тетраэдрит
13	$[(Cu^{+}_{9,07}Ag_{0,93})_{10,00}(Zn_{1,22}Fe_{2,57})_{3,79}](As_{0,91}Sb_{1,81})_{2,72}S_{13,30}$	(Fe, Zn)-теннантит-тетраэдрит
14	$[(Cu^{+}_{9,57}Ag_{0,43})_{10,00}(Cu^{2+}_{0,32}Zn_{1,12}Fe_{1,19})_{2,63}](As_{2,07}Sb_{0,04}Te_{0,69}Bi_{0,80})_{3,60}S_{12,77}$	Te-содержащий теннантит-аннивит-тетраэдрит
<i>Блекловорудно-золото-теллуридно-селенидно-кварцевая минеральная ассоциация</i>		
15	$[Cu^{+}_{10,00}Cu^{2+}_{1,84}(As_{0,74}Sb_{0,88}Te_{2,50})_{4,11}S_{12,22}Se_{0,83}$	Se-содержащий голдфиллит
16	$[Cu^{+}_{10,00}Cu^{2+}_{1,97}(As_{1,62}Sb_{0,37}Te_{2,09})_{4,08}S_{12,95}$	Голдфиллит-теннантит-тетраэдрит
17	$[Cu^{+}_{10,00}Cu^{2+}_{1,73}(As_{1,01}Sb_{0,85}Te_{2,19})_{4,06}S_{12,78}Se_{0,44}$	Se-содержащий голдфиллит-теннантит-тетраэдрит

По данным (Сахарова и др., 1984) для образцов голдфилдитов Камчатки типичны высокие содержания Cu, отсутствие Ag и присутствие двухвалентных металлов — Zn, Fe. Блеклые руды блекловорудно-золото-теллуридно-селенидно-кварцевой минеральной ассоциации Вилючинского рудопроявления характеризуются высокими концентрациями Cu до 12.00 ф.е. — для голдфилдитов и 11.97 ф.е. — для голдфиллит-теннантит-тетраэдритов, при полном отсутствии Ag. Концентрации Te меняются от 2.19 ф.е. — в голдфиллит-теннантит-тетраэдритах, до 2.50 ф.е. — в голдфилдитах (таблица). Цинк обнаружен только в голдфиллит-теннантит-тетраэдритах с максимальными значениями — до 0.91 ф.е.

Кроме того, в голдфилдитах и голдфиллит-теннантит-тетраэдритах установлена примесь Se в количествах 0.83 ф.е. и 0.44 ф.е., соответственно. Нужно отметить, что Se-содержащие голдфиллиты типичны для многих золото-серебряных месторождений Камчатки (Кудаева и др., 2024; Округин, 2006; Спиридонов, 1985; Шишканова и др., 2022).

Таким образом, в блекловорудно-золото-теллуридно-селенидно-кварцевой минеральной ассоциации Вилючинского рудопроявления выделены следующие разновидности блеклых руд: Se-содержащие голдфиллиты, голдфиллит-теннантит-тетраэдриты, Se-содержащие голдфиллит-теннантит-тетраэдриты (таблица).

Согласно литературным данным, анионная группа блеклых руд большинства месторождений мира представлена серой. Ее количества находятся в пределах 13.00 ф.е., также в эту группу входит Se, который изоморфно замещает S (Мозгова и др., 1983). Содержания S в блеклых рудах Вилючинского рудопроявления более высокие и варьируют в пределах 12.31–13.96 ф.е. Минимальные значения наблюдаются в теллуристых видах, максимальные — в мышьяковистых, в которых теллур практически отсутствует (таблица).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторские исследования показали, что блеклые руды рудопроявления Вилючинское — это сложные соединения, переменного состава, характеризующиеся значительными вариациями и количественными соотношениями слагающих их химических элементов — Cu, As, Sb, Zn, Me, Mn, Cd, In, Ag, Te, Bi, S, Se.

В результате пересчета на кристаллохимические формулы автором выделены теннантиты, тетраэдриты, голдфиллиты и блеклые руды смешанного состава. Кроме этого, по соотношению одно- и двухвалентных элементов блеклые

руды разделены на несколько внутривидовых разновидностей.

Практически все изученные блеклые руды содержат цинковую составляющую.

Также следует подчеркнуть присутствие индиевых блеклых руд, что, по мнению автора, определяет особенности формирования золото-серебряной минерализации рудопроявления Вилючинское в отличие от многих других эпitherмальных месторождений мира. Так, согласно (Spiridonov et al., 2005), блеклые руды с высокими содержаниями In характерны для высокотемпературных (ксенотермальных) колчеданных месторождений Армении и Ирана. Изученные блеклые руды Вилючинского рудопроявления имеют близкие концентрации In, что указывает на более высокие температурные условия их образования.

Отличительная черта теллуристых блеклых руд Вилючинского рудопроявления по сравнению с мышьяковистыми и сурьмянистыми — это высокие концентрации Se и Bi, что расширяет представления об условиях образования вулкано-генных месторождений Южной Камчатки.

Для блеклых руд изученного рудопроявления прослеживается традиционный тренд их эволюции — от существенно мышьяковистых (теннантиты) через сурьмянистые (тетраэдриты), мышьяково-сурьмянистые (теннантит-тетраэдриты) к более поздним теллуристым и теллур-селенистым (голдфилдитам и голдфилдит-теннантит-тетраэдритам), что, по мнению автора, хорошо согласуется с данными (Спиридонов, 1985; Спиридонов и др., 1990).

Полученные результаты помогут внести ясность в понимании процессов формирования золото-серебряной минерализации, восполнить пробел в знаниях о минералогии руд Вилючинского рудопроявления и позволят лучше понять закономерности локализации оруденения, что является общепризнанным фактом. Они могут быть использованы для оптимизации и планирования дальнейших геолого-разведочных работ на территории Южно-Камчатского горнорудного района.

Автор выражает признательность коллегам за помощь в подготовке каменного материала для проведения дальнейших исследований, за полезные советы и рациональные предложения по оформлению рукописи. А также анонимным рецензентам за конструктивные замечания и пожелания.

Статья подготовлена в рамках выполнения плана НИР ИВиС ДВО РАН № FWME-2024-0006 «Роль гидротермальных систем Курило-Камчатской вулканической дуги в перераспределении мантийного и корового вещества в процессах минерало-рудогенеза».

Булах А.Г. Руководство и таблицы для расчета формул минералов. Москва: Недра. 1967. 144 с. [*Bulah A.G.* *Rukovodstvo i tablitsi dliya rascheta formul mineralov.* Moscow: Nedra. 1967. 144 p. (in Russian)].

Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализаций и ореолов рассеяния полезных ископаемых. Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1:500 000 / Гл. ред. Литвинов А.Ф., Патока М.Г. (Камчатгеолком), Марковский Б.А. (ВСЕГЕИ). Петропавловск-Камчатский: СП КФ ВСЕГЕИ. 1999. 560 с. [*Katalog mestorozhdeniy, proyavleniy, punktov mineralizatsiy i oreolov rasseyaniya poleznykh iskopayemykh. Karta poleznykh iskopayemykh Kamchatskoy oblasti masshtaba 1:500 000 / Gl. red. Litvinov A.F., Patoka M.G. (Kamchatgeolkom), Markovskiy B.A. (VSEGEI). Petropavlovsk-Kamchatskiy: SPKF VSEGEI. 1999. 560 p. (in Russian)*].

Кудаева Ш.С., Козлов В.В., Скильская Е.Д. и др. Новый тип золотоносной минерализации на Озерновском Au-Te-Se эпitherмальном месторождении (Центральная Камчатка, Россия) // Геология рудных месторождений. 2024. Т. 66. № 5. С. 505–532. <https://doi.org/10.31857/S0016777024050056> [*Kudaeva Sh.S., Kozlov V.V., Skil'skaya E.D. et al.* New type of gold-bearing mineralization at the Ozerновское Au-Te-Se epithermal deposit (Central Kamchatka, Russia) // *Geology of ore deposits.* V. 66. № 5. 2024. P. 547–569. <https://doi.org/10.1134/S1075701524600427>].

Мозгова Н.Н., Цепин А.И. Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). Москва: Наука, 1983. 280 с. [*Mozgova N.N., Tsepin A.I.* *Bleklyye rudy (osobennosti khimicheskogo sostava i svoystv).* Moscow: Nauka, 1983. 280 p. (in Russian)].

Округин В.М. Мутновское серебро-полиметаллическое месторождение // Геодинамика, магматизм, металлогения Востока России. Кн. 1. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 712–716 [*Okrugin V.M.* *Mutnovskoye serebro-polimetallicheskoye mestorozhdeniye // Geodinamika, magmatizm, metallogeniya Vostoka Rossii. Kn. 1. Vladivostok: Dalnauka, 2006. P. 712–716 (in Russian)*].

Округин В.М., Шишканова К.О., Филоsofova Т.М. Новые данные о рудах Вилючинского золото-серебро-полиметаллического рудопроявления, Южная Камчатка // Руды и металлы. № 1. 2017. С. 40–54. [*Okrugin V.M., Shishkanova K.O., Filosofova T.M.* *Novyye dannyye o rudakh Vilyuchinskogo zoloto-serebro-polimetallicheskogo rudoprovyavleniya, Yuzhnaya Kamchatka // Rudy i metally. № 1. 2017. P. 40–54 (in Russian)*].

Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский: СП КФ ВСЕГЕИ, 1999. 115 с. [*Petrenko I.D.* *Zoloto-serebryanaya formatsiya Kamchatki. Petropavlovsk-Kamchatskiy: SPKF VSEGEI, 1999. 115 p. (in Russian)*].

Сахарова М.С., Лебедева Н.В., Чубаров В.М. Первая находка на Камчатке редких минералов теллура — голдфилдита, раклидгита, самородного теллура // Доклады Академии наук СССР. 1984. Т. 278. № 5. С. 1217–1220 [*Saharova M.S., Lebedeva N.V., Chubarov V.M.* *Pervaya nahodka na Kamchatke redkih mineralov tellura — goldfildita, rakkidgita, samorodnogo tellura // Doklady Akademii nauk SSSR. 1984. T. 278. № 5. S. 1217–1220*].

- samorodnogo tellura // *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1984. T. 278. № 5. P. 1217–1220 (in Russian)]
- Сляднев Б.И., Шаповаленко В.Н., Крикун Н.Ф. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Камчатская. Лист N–57. Петропавловск-Камчатский. Объяснительная записка. Санкт-Петербург: СП КФ ВСЕГЕИ. 2006. 376 с. [*Slyadnev B.I., Shapovalenko V.N., Krikun N.F. i dr.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1: 1 000 000 (tretye pokoleniye). Seriya Koryaksko-Kamchatskaya. List N–57. Petropavlovsk-Kamchatskiy. Obyasnitelnaya zapiska. Sankt-Peterburg: SP KF VSEGEI, 2006. 376 p. (in Russian)].
- Спирidonov Э.М.* О видах и разновидностях блеклых руд и рациональной номенклатуре минералов группы. Некоторые замечания об условиях образования блеклых руд // Новые данные о минералах. Вып. 32. 1985. С. 128–146 [*Spiridonov E.M.* O vidakh i raznovidnastyakh bleklykh rud i ratsionalnoy nomenklature mineralov grupy. Nekotoryye zamechaniya ob usloviyakh obrazovaniya bleklykh rud // Novyye dannyye o mineralakh. Vyp. 32. 1985. P. 128–146 (in Russian)].
- Спирidonov Э.М., Игнатов В.А., Шубина Е.В.* Эволюция блеклых руд вулканогенного месторождения Озерновское (Камчатка) // Известия Академии наук СССР. 1990. № 9. С. 82–93 [*Spiridonov E.M., Ignatov V.A., Shubin E.V.* Evolutsiy bleklykh rud vulkanogennoy mestorozhdeniy Ozerновское // *Izvestia Akademii nauk SSSR*. 1990. № 9. P. 82–93 (in Russian)].
- Шеймович В.С.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Сер. Южно-Камчатская. Листы N–57–XXI (Северные Коряки), N–57–XXVII (Петропавловск-Камчатский), N–57–XXXIII (сopка Мутновская). Объяснительная записка. СПб: КФ ВСЕГЕИ. 2000. 302 с. [*Sheymovich V.C.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. Ser. Yuzhno-Kamchatskaya. Listy N–57–XXI (Severnyye Koryaki). N–57–XXVII (Petropavlovsk-Kamchatskiy). N–57–XXXIII (sopka Mutnovskaya). Obyasnitelnaya zapiska. St.-Peterburg: KF VSEGEI. 2000. 302 p. (in Russian)].
- Шишканова К.О., Округин В.М., Философова Т.М.* Особенности минералогии руд южного фланга золото-серебро-полиметаллического месторождения Мутновское (Южная Камчатка) // Руды и металлы. 2022. № 3. С. 78–100 [*Shishkanova K.O., Okrugin V.M., Filosofova T.M.* Osobennosti mineralogii rud yuzhnogo flanga zoloto-serebro-polimetallicheskoego mestorozhdeniya Mutnovskoye (Yuzhnaya Kamchatka) // *Rudy i metally*. 2022. № 3. P. 78–100 (in Russian)].
- Spiridonov E., Kovachev V., Kulikova I. et al.* Minerals of fahlerz group: indicators of ore genesis // *Bulgarian Geological Society, 80-th Anniversary*. Sofia. 2005. P. 79–82.

NEW DATA ON FAHLORES OF THE VILYUCHINSKOYE ORE OCCURRENCE (SOUTHERN KAMCHATKA)

© 2025 K.O. Shishkanova

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006,

Received May 28, 2025; revised October 01, 2025; accepted December 25, 2025

The report provides new data for fahlores of the Vilyuchinsky gold-silver-polymetallic ore occurrence. On the basis of study of the peculiarities of chemical composition with the help of modern research methods, it was established that these minerals are complex compounds of variable composition characterized by significant variations and quantitative ratios of their constituent chemical elements. The fahlores form the following mineral associations are: the fahlore-quartz, the sulphide-fahlore-quartz and the fahlore-gold-telluride-selenide-selenide-quartz. The fahlore-quartz association is composed directly of fahlores and quartz; the sulphide-fahlore-quartz association includes chalcopyrite, pyrite, galena, chalcocite, fahlores and quartz; fahlores, tellurides of Au, Ag, selenides of Ag, Pb and quartz make up the fahlore-gold-telluride-selenide-selenide-quartz mineral association. According to the ratio of the main mineral-forming elements three mineral species were identified, which are tennantites, tetrahedrites and the goldfieldites, as well as several interspecific and intraspecific varieties. The obtained data can be used to elucidate the regularities of evolution of the chemical composition of the ore-generating solutions and decipher the physicochemical conditions of ore formation ores.

Keywords: Kamchatka, tennantite, tennantite-tetrahedrite, goldfieldite, gold-silver mineralisation.