

проявлены очень слабо. Рассматривая деформационные связи, в виде вторичных аминов было обнаружено, что они регистрируются со смещением в область ИК-спектра с малыми волновыми числами, т.е. в область неорганических и металлоорганических соединений. Все виды соединений вторичных аминов проявляются на полосах 1662, 1650, 1640, 1628 см⁻¹ с дуплетом на 1645 и 1612 см⁻¹.

Источником свечения (люминесцирования) могут быть химические соединения с участием азота, т.е. либо белки, либо их производные в геополимерах или порфиринах. Часто азо-соединения используются в качестве люминесцентных индикаторов [1].

Предполагается, что при постседиментационных процессах преобразования отложений в резко восстановительных условиях (что характерно для формирования пород баженовской свиты) с учетом поступления реакционноспособного пирокластического материала часть азота (азотистых соединений) остается в органических структурах керогена, а другая переходит в иловые воды в виде иона аммония (NH₄) и других азотсодержащих соединений. Сохранению азота в водах благоприятствуют застойность и восстановительные условия. Высвободившийся азот и его соединения могли захватываться путем адсорбции минеральными компонентами породы.

Таким образом, по результатам проведенного комплекса исследований причина свечения связывается с органическим веществом и/или его компонентами и с особенностями их преобразования в условиях «ураганного» поступления пирокластического материала при резкой смене условий в иловых водах, что привело к разложению органических компонентов осадка с появлением азотных форм связей, унаследованных от строения биоты в виде реликтовых форм соединений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90008.

Литература

1. Божевольнов Е.А. Люминесцентный анализ неорганических веществ. – М.: Изд-во «Химия», 1966. – 416 с.
2. Кондрашова Е.С. Минералогия, геохимия и природа свечения люминесцирующих прослоев баженовской свиты Западно-Сибирского осадочного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Томск, 2020. – Т. 331. – № 8. – С. 123–135.
3. Кондрашова Е.С. Вулканогенные прослои в баженовской свите Западно-Сибирского осадочного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Томск, 2021. – Т. 332. – № 3. (в печати).
4. Таращан А.Н. Люминесценция минералов. – К.: «Наук. Думка», 1978. – 296 с.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЗМА БЛЕКЛЫХ РУД УЧАСТКА ЭМИ СВЕТЛИНСКОГО ЭПИТЕРМАЛЬНОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Левочская Д.В.^{1,2}, Лесняк Д.В.^{1,2}, Якич Т.Ю.²

Научный руководитель - профессор А.К. Мазуров

¹Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», г. Хабаровск, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Светлинское эпитеpмальное рудное поле расположено в южной части Охотского района Хабаровского края в Ульяновском прогибе Охотской ветви Охотско-Чукотского вулканогенно-плутонического пояса, выполненном меловыми вулканогенно-осадочными породами [4]. Ульяновский прогиб осложнен позднемеловыми вулканическими структурами, к числу которых принадлежит Секчинская вулкано-тектоническая депрессия (50×28 км), к юго-западной части которой приурочено рудное поле Светлое [7]. В этом районе широко развита разрывная тектоника. Выделяются региональные разломы северо-восточного простирания (продольные по отношению к Охотско-Чукотскому поясу), к числу которых принадлежит Дюльбакинский разлом, проходящий по площади рудного поля. Синвулканические разломы, ограничивают и осложняют кольцевые вулканоструктуры. К последним тяготеют субвулканические и интрузивные тела, поля гидротермально-измененных пород [6].

Площадь Светлинского рудного поля сложена метасоматически измененными позднемеловыми вулканитами кислого состава уражской свиты и несогласно залегающими на них вулканитами среднего состава хетанинской свиты. Промышленное золотосеребряное оруденение установлено на участках Елена, Тамара, Людмила, Лариса и Эми. Рудные запасы Светлинского рудного поля на 01.01.2020 оценены в 435 тысяч унций золота при среднем содержании 2.6 г/т и 0.6 миллиона унций серебра при среднем 4 г/т; минеральные ресурсы – 133 тысячи унций золота (2.4 г/т) и 0.2 миллиона унций серебра (3 г/т) соответственно [9]. При этом наиболее разнообразная рудная минерализация, в пределах которой помимо пирита широко развиты блеклые руды переменного состава, ассоциирующие с теллуридами золота и серебра приурочена к участку Эми, что и послужило причиной выбора объекта данного исследования.

В пределах участка Эми околорудные изменения вмещающих пород представлены вторичными кварцитами и иллитовыми аргиллизитами [7]. Метасоматиты имеют интенсивную дифференциацию, выраженную в чередовании как крупных зон типичных разновидностей кварцитов и аргиллизитов, так и узких зон (в масштабе от долей до первых метров) с различным соотношением филлосиликатов. Рудные залежи имеют линзо-, плитообразную форму с простиранием в северных румбах и падение на восток под углом 55°.

Для установления вертикальной изменчивости химизма блеклых руд в разрезе скважин был опробован керн 4 скважин и отобраны сколковые пробы с бортов карьера участка Эми. Отбор проб производился из скважин,

характеризующих типовой разрез рудной зоны, с интервалами, не превышающими 3 м. Для отобранной серии пород на базе Томского политехнического университета выполнены минераграфический и петрографический анализы 60 полированных шлифов и 50 аншлифов при помощи оптического микроскопа ZEISS Axio Imager.A2m и сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 SBU с локальным энергодисперсионным анализом приставки фирмы OXFORD X-Max 50 с Si/Li кристаллическим детектором.

Блеклые руды являются широко распространённой группой минералов эпitherмальных месторождений золота и могут выступать чувствительным индикатором составов исходных растворов, участвовавших при формировании месторождений. Учитывая способность блеклых руд образовывать твёрдые растворы, они являются подходящим петрогенетическим инструментом определения среды минералообразования [1–3, 5, 10].

В результате проведенных исследований отмечена вертикальная зональность блеклых руд в пределах глубин 31.6...110 м одной из наиболее детально изученной скважины участка Эми. В приповерхностных условиях на глубинах 31.6...38.2 м преобладающей разностью является тетраэдрит с примесью серебра. В совместной минеральной ассоциации находится аргентотетраэдрит ($Ag_{8.65}Fe_{1.83}Cu_{1.28}Zn_{0.62})(Sb_{2.35}As_{1.59})S_{13}$. В целом, блеклые руды теннантит-тетраэдритовой ряда, содержащие серебро развиты преимущественно в интервале глубин до 62.0 м от поверхности. При этом серебросодержащие блеклые руды образуют два отдельных поля составов по содержанию сурьмы – мышьяково-теллуристые разности (3.94...6.11 вес.% Sb) и тетраэдритовые (14.55...21.34 вес.% Sb) соответственно. Блеклые руды с низким содержанием сурьмы развиты преимущественно на глубинах 38.2...62.0 м, в то время как тетраэдритовые разности преобладают на глубине 31.6 м. При этом отмечается положительная корреляционная связь между повышением содержания серебра и увеличением количества сурьмы, наиболее значимая зависимость объясняется появлением аргентотетраэдрита на глубине 31.6 м.

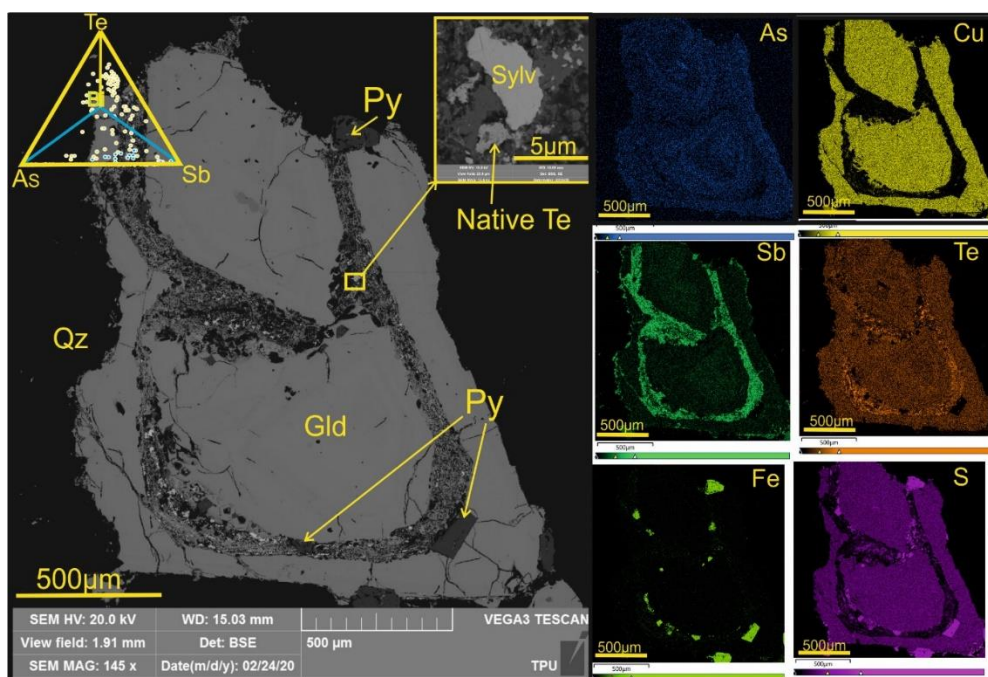


Рис. Зональные кристаллы голдфилдита (Gld) в ассоциации с пиритом (Py) в кварце (Qz) (участок Эми, гл. 46.4 м). Зоны роста являются ловушками для наложенной теллуридной минерализации: сильванита (Sylv) и самородного теллура (Native Te). Диаграмма состава As-Sb-Bi-Te голдфилдита и теллуросодержащих разновидностей теннантит-тетраэдритовой группы. Карта элементного состава голдфилдита с использованием ЭДС анализа сканирующего электронного микроскопа.
СЭМ-снимки сделаны в обратно-отраженных электронах

В интервале глубин 38.2...46.5 м преобладающей блеклой рудой является голдфилдит ($Cu_{9.93-12.0}, Fe_{0.0-1.74}, Ag_{0-0.36})(Te_{1.41-2.68}, Sb_{0.0-2.54}, Bi_{0.0-0.28}, As_{0.0-1.28})S_{13}$, в котором отмечается примеси висмута и серебра. Зональность кристаллов голдфилдита в пределах участка Эми обуславливается различным содержанием в нем примесей As, Sb и Bi (1.66...3.66 вес.%). Отмечаются как линейные зоны обогащения висмутом и мышьяком, так и нелинейные, что является свидетельством их пластичной деформации: а) возникающей за счет внутренних напряжений в кристалле; б) за счет внешних воздействий на еще незатвердевшие кристаллы. Ритмичная зональность кристаллов голдфилдита может также объясняться пульсационным характером поступления вещества и неравновесностью условий кристаллизации. Осцилляторная зональность кристаллов голдфилдита на уч. Эми представлена как монофазной, так и многофазной или гетерофазной зональностью и заключается в чередовании полос различного минерального состава (например, голдфилдит и As-голдфилдит + самородный Te + теллуриды Au, Ag, Hg) (рис). По мнению [8] гетерофазная зональность голдфилдита объясняется воздействием «внешних» факторов, то есть какими-либо периодическими изменениями в минералообразующей среде, приводящими к периодическому переходу теллура из

окисленного состояния (Te^{4+} в голдфилдите) в нейтральное (самородный Te) или восстановленное (Te^{2-} в теллуридах золота и серебра (сильванита) и ртути (колорадоита)). Монофазная зональность, т.е. колебания содержаний Te, обусловлена изменениями скорости захвата теллура (и As или Sb) растущим кристаллом голдфилдита. Последняя, в свою очередь, определяется концентрацией этих компонентов в слое раствора, непосредственно контактирующем с растущими гранями кристалла (в реакционной зоне). Концентрация отдельного компонента в реакционной зоне зависит от соотношения скорости диффузии его в растворе и скоростей адсорбции и десорбции теллура твердой фазой. Подобные монофазная и гетерофазная или мультифазная осцилляторная зональность установлена для голдфилдитов из других эпитеермальных высокосернистых (HS) золоторудных месторождений Елшица (Среднегорье, Болгария), Прасоловское (о. Кунашир, Курильские острова) и Озерновское (Камчатка) [8].

На карте элементного состава сросшихся кристаллов голдфилдита хорошо видно, что зоны повышенной трещиноватости заполнены наложенными сульфософатами и в значительной степени обогащены самородным теллуrom, теллуридами ртути (колорадоитом $\text{Hg}_{0.77-0.94}\text{Te}$) и теллуридами золота и серебра (сильванитом $\text{Au}_{0.86-1.67}\text{Ag}_{0.4-2.31}\text{Fe}_{0.06-0.39}\text{Mo}_{0.2-0.77}\text{Ta}_{0.04-0.08}\text{Te}_4$).

В интервале глубин 46.5...62.0 м отмечается промежуточная по составу блеклая руда между голдфилдитом и тетраэдрит-теннантитом с вариацией примеси теллура в пределах 0.64...12.83 вес.%; (a.p.f.u. = 0.09...1.58).

В целом, содержание мышьяка в составе блеклых руд участка Эми значительно варьирует, при этом с глубиной отмечается два тренда развития устойчивых составов блеклой руды: с высоким содержанием мышьяка (теннантитовые разности) и высоким содержанием сурьмы (тетраэдритовые разности). На глубинах 60...80 м более распространён теннантит, при этом встречающиеся тетраэдритовые разности характеризуются наиболее высоким содержанием цинка. С глубиной в составе блеклых руд увеличивается содержание железа. На глубинах 62.0...109.0 м развиты конечные члены теннантит-тетраэдритового ряда, зачастую образующие распады твердого раствора между собой.

Таким образом, изменчивость химического состав блеклых руд с глубиной в пределах одной из скважин участка Эми в направлении от 31.6→110 м. представлена следующей последовательностью: тетраэдрит с примесью серебра → теннантит с примесью серебра → голдфилдит с примесью мышьяка, висмута и серебра → теллуросодержащие теннантит-тетраэдритовые разности → крайние члены теннантит-тетраэдритового ряда на фоне увеличения содержания цинка и железа.

Литература

1. Hu Y. Genesis of fahlore in the Tianbaoshan lead-zinc deposit, Sichuan Province, China: a scanning electron microscopy – energy dispersive spectroscopy study [Text] / Y. Hu, L. Ye, Z. Li, Z. Huang, J. Zhang // Acta Geochimica. – 2018. – V. 37. – P. 842 – 853.
2. Keim M.F. Polyphase enrichment and redistribution processes in silver-rich mineral associations of the hydrothermal fluorite-barite – (Ag-Cu) Clara deposit, SW Germany [Text] / M.F. Keim, B.F. Walter, U. Neumann, S. Kreissl, R. Bayerl, G. Markl // Mineralogy Deposita. – 2019. – V.54. – P. 155–174.
3. N.G. Lyubimtseva Coupled Dissolution – Precipitation Reactions of Tennantite – Tetrahedrite Minerals in the Darasun Gold Deposit (Eastern Transbaikalia, Russia) [Text] / N.G. Lyubimtseva, N.S. Bortnikov, S.E. Borisovsky, O.V. Vikent'eva, V.Y. Prokofiev // Geology of Ore Deposits. – 2019. –V.61. – P. 530–548.
4. Mishin L.F. New age data on the magmatic rocks from the western sector of the Okhotsk - Chukotka volcanogenic belt [Text] / L.F. Mishin, V. V. Akinin, E.L. Mishin // Russian Journal of Pacific Geology. – 2008. – V.2. – P.385–396.
5. Repstock A. Chemical composition and varieties of fahlore-group minerals from Oligocene mineralization in the Rhodope area, Southern Bulgaria and Northern Greece [Text] / A. Repstock, P. Voudouris, M. Zeug, V. Melfos, M. Zhai, H. Li, T. Kartal, J. Matuszczak // Mineralogy and Petrology. – 2016. – V. 110. – P. 103–123.
6. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России [Текст] / под ред. А.И. Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – Кн. 1. – С. 1–572. – Кн. 2. – С. 573–981.
7. Мишин Л.Ф. Вторичные кварциты и их связь с золоторудной минерализацией месторождения Светлое (Россия) (Ульянский прогиб, Охотско-Чукотский вулканогенный пояс) [Текст] // Тихоокеанская геология. – 2011. – Т. 30. – № 4. – С. 32–48.
8. Плотинская О.Ю., Русинов В.Л., Зелтманн Р. Осцилляторная зональность в блёклых рудах эпитеермальных золоторудных месторождений [Текст] // Доклады академии наук. – 2005. –Т. 403. – С. 237 – 241.
9. Официальный сайт компании «Polymetal International PLC» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.polymetalinternational.com/ru/assets/where-we-operate/svetloye/#Reserves>
10. Плотинская О.Ю., Грабежев А.И., Зелтманн Р. Состав блёклых руд как элемент зональности порфирово-эпитеермальной системы (на примере рудопроявления Биксизак, Ю.Урал) [Текст] // Геология рудных месторождений. – № 57. – С. 48–70.

ЗОЛОТАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АБЫЗ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)

Николаева А.Н., Байболова Ш.

Научный руководитель - профессор А.К. Мазуров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Месторождение Абыз открыто в 1973 г. и изучалось В.Г. Тихомировым, И.А. Дороховым, Н.М. Исаевым, Э.С. Файзуллиним, В.Н. Исаевым, А.М. Мызниковым, К.Ш. Дюсембаевой, Ф.Ф. Судовцевым, С.Е. Беляевым, Н.П. Остробородько, В.М. Шужановым, Б.С. Хамзиним и др.