

Литература

1. Berrezueta E., Ordóñez-Casado B., Bonilla W., et al. Ore petrography using optical image analysis: application to Zaruma Portovelo deposit (Ecuador). // *Geosciences*, 2016. – V. 6. – № 2. – P. 30.
2. Kochkarev A., Khvostikov D., Korshunov et al. Data balancing method for training segmentation neural networks // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2020. – V. 2744. – P. 1–10.
3. Köse C., Alp I., Ikiba C. Statistical methods for segmentation and quantification of minerals in ore microscopy // *Minerals Engineering*. – 2012. – V. 30. – № 2. – P. 19–32.
4. Lopez-Benito A., Catalina J.C., Alarc on D., et al. Automated ore microscopy based on multispectral measurements of specular reflectance. I–A comparative study of some supervised classification techniques // *Minerals Engineering*. – 2020. – V. 15.
5. Marschallinger R. Automatic mineral classification in the macroscopic scale // *Computers & Geosciences*. – 1997. – V. 23. – P. 119–126.
6. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*. Springer. Cham. – 2015. – P. 234–241.

**ТЕЛЛУРИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ СВЕТЛОЕ
(ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

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

Научный руководитель - профессор А.К. Мазуров

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

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

Эпитермальное золоторудное поле Светлое расположено в южной части Охотского района Хабаровского края в Ульяновском прогибе Охотской ветви Охотско-Чукотского вулканогенно-плутонического пояса, выполненном меловыми вулканогенно-осадочными породами [7]. Ульяновский прогиб осложнен поздне меловыми вулканическими структурами, к числу которых принадлежит Секчинская вулкано-тектоническая депрессия (50×28 км), к юго-западной части которой приурочено рудное поле Светлое [11]. В этом районе широко развита разрывная тектоника. Выделяются региональные разломы северо-восточного простирания (продольные по отношению к Охотско-Чукотскому поясу), к числу которых принадлежит Дольбакинский разлом, проходящий по площади рудного поля. Синвулканические разломы, ограничивают и осложняют кольцевые вулканоструктуры. К последним тяготеют субвулканические и интрузивные тела, поля гидротермально-измененных пород [10].

Площадь рудного поля Светлое характеризуется разнообразием гидротермально-метасоматических образований, развивающихся по вулканогенным породам преимущественно кислого (уракская свита (К₂)) и, реже, средне-основного состава (хетанская свита (К₂)). Промышленное золото-серебряное оруденение установлено на участках Елена, Тамара, Людмила, Лариса и Эми. Рудные залежи имеют линзо-, плитообразную форму с простиранием в северных румбах и пологим падением на восток под углами 55° на участке Эми и на запад (15...25°) на остальных участках. Мощности залежей колеблются в широких пределах от первых метров до десятков метров, протяженность по простиранию сотни метров, по падению десятки-сотни метров. Оруденение характеризуется крайней степенью изменчивости распределения золота и серебра. 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 [12].

Эпитермальные месторождения золота тяготеют к границам активных континентальных окраин или зон субдукции, формируясь при низких температурах (< 300° С) и представляя собой верхние части (глубина < 1 км) рудообразующей гидротермальной системы [4, 5, 6]. Происхождение гидротермальных флюидов, образующих эпитермальные месторождения, может быть различным, от преимущественно магматических в высокосернистых месторождениях (High sulfidation (HS)) до преимущественно метеорных в низкосернистых месторождениях (Low sulfidation (LS)) [1, 4, 5, 6]. Месторождения промежуточного типа (Intermediate sulfidation (IS)), как правило, более тесно связаны с месторождениями HS типа и порфирами, чем с месторождениями LS [2, 8, 9]. Одним из основных критериев выделения того или иного типа эпитермальных месторождений, является детальное изучение минерального состава как породообразующих, так и рудных минералов. Не смотря на тот факт, что рудное поле Светлое характеризуется обильным распространением сульфатов (алунит, барит, ярозит, микасаит, целестин, англезит, сванбергит и т.д.), что позволяет его относить к высокосернистому типу, рудная минерализация HS типа (гипогенный ковеллин, энаргит, люционит, борнит и т.д.) в процессе изучения установлена не была, что может являться свидетельством уровня современного эрозионного среза в пределах участка Эми, локализованного в отличие от всех остальных участков рудного поля в более ранней толще вулканитов среднего-основного состава хетанской свиты (К₂). При этом здесь широко распространена теллуридная минерализация, свойственная для эпитермальных месторождений IS-типа.

Данное исследование посвящено изучению теллуридной минерализации, которая весьма разнообразна в пределах рудного поля Светлое, и основное распространение получила на участке Эми, в меньшей степени на участках Людмила и Елена.

Более 300 образцов полированных шлифов и аншлифов руд, метасоматитов, сколковых проб, отобранных из 11 скважин и бортов 4 карьеров всех участков рудного поля Светлое были проанализированы на базе Томского политехнического университета при помощи микроскопа ZEISS Axio Imager.A2m. и сканирующего электронного

**СЕКЦИЯ 3. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МПИ.
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОЛОГИИ**

микроскопа TESCAN VEGA 3 SBU с приставкой для рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализа OXFORD X-Max 50 с Si/Li кристаллическим детектором на предмет изучения минерального состава теллуридов.

На участке Эми установлены теллуриды никеля – мелонит $Ni_{0.92-1.00}Te_2$; свинца – алтаит $Pb_{0.90}Te$; висмута – теллурувисмутит $Bi_{1.82-1.93}Te_3$; кавачулит $Bi_{2.65-3.08}Te_{2.88-3.3}Se$; сурьмы и висмута – теллурантимон $Sb_{1.65-2.2}Bi_{0.15-0.7}Te_3$; ртути – колорадоит $Hg_{0.77-0.94}Te$; золота и серебра – сильванит $Au_{0.86-1.67}Ag_{0.4-2.31}, Fe_{0.06-0.39}, Mo_{0.2-0.77}, Ta_{0.04-0.08}Te_4$, петцит $Ag_{2.93-3.4}Au_{0.93-0.97}, Fe_{0.17-0.44}Te_2$, штютцит $Ag_{4.43-5.14}Au_{0.06-0.07}, Fe_{0.6}, Bi_{0.15}Te_3$, гессит $Ag_{1.71}Au_{0.1}Te$ и т.д., а также самородный теллур.

Наибольший промышленный интерес представляет теллуридная минерализация золота и серебра, которая обнаруживает определенные признаки вертикальной зональности в пределах участка Эми, выражающейся в виде последовательной смены сверху вниз по разрезу скважин от преимущественно серебро-содержащих разностей (гессит, петцит, штютцит, ютенбогардтит, мутманнит), преобладающих на глубинах 30...40 м через золото-серебро-содержащий теллурид (сильванит), имеющий широкое распространение в интервале глубин от 40...80 м и с отложением золото-содержащего теллурида – калаверита на глубине 105.6 м (рис.).

В целом, на участке Эми в пределах глубин 31.6...110 м развита, согласно классификации [8], теллуридная минеральная ассоциация IS-типа: блеклые руды теннантит-тетраэдритового ряда, теллуриды ртути, сурьмы, золота и серебра, самородный теллур.

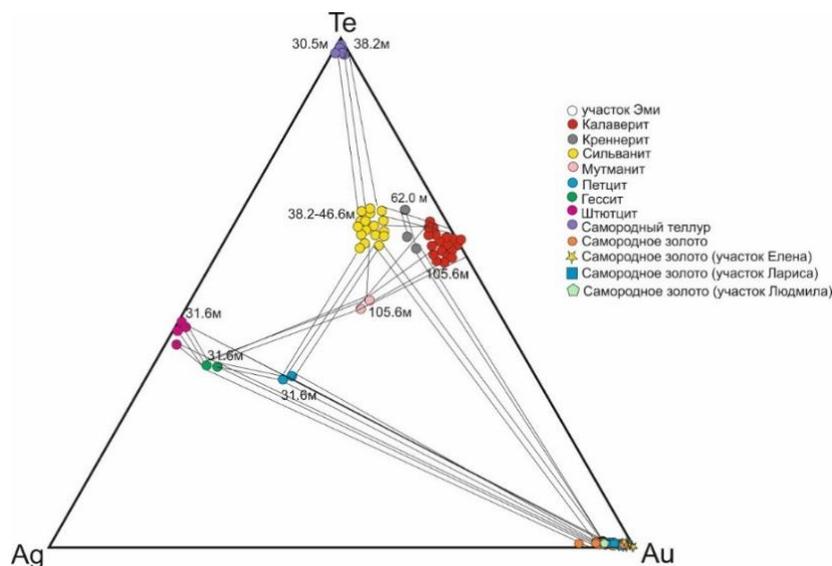


Рисунок. Тройная Au-Ag-Te диаграмма для теллуридов благородных металлов, отражающая золото-серебро-теллуридную ассоциацию участка Эми с самородным золотом с других участков рудного поля Светлое. Числами указаны глубины обнаружения

Проявление такого количества теллуридов на участке Эми, включая теллуриды золота и серебра позволяют относить золото-серебряное оруденение к золото-теллуриднему типу, характерному для таких зарубежных месторождений аналогов как Эмперор (Фиджи), Поргера (Папуа-Новая Гвинея), Монтана, Крипл Крик (Колорадо). По мнению [3] изменения параметров флюидов (например, реакции сульфидирования-окисления на фронтах окислительно-восстановительного потенциала) по-видимому, очень благоприятны для фракционирования теллуридных расплавов из рудных флюидов.

Таким образом, обилие теллуридов, и в частности теллуридов золота и серебра на участке Эми позволяет выделить отдельный золото-теллуридный тип минерализации, предполагающий определенную схему переработки руды, отличную, к примеру, от стандартной схемы кучного выщелачивания, применимой к другим участкам золоторудного поля Светлое.

Литература

1. Arribas A. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid [Text] // Mineralogical Association of Canada Short Course Series. – 1995. – V.23. – P. 419 – 454. DOI: 10.1186/2193-1801-3-130
2. Camprubí A. Epithermal deposits in México - Update of current knowledge and an empirical reclassification [Text] / A. Camprubí, T. Albinson // Special Paper of the Geological Society of America. – 2007. – V. 422. – P. 377 – 415. DOI: 10.1130/2007.2422(14)
3. Cook N.J. Telluride and selenide minerals in gold deposits - a half-term report for IGCP-486 [Text] / N.J. Cook, C.L. Ciobanu, P. Spry, K.K. Kojonen, V. Kovalenker // Ext. Abstr. 12th Quadrennial IADOD Symposium "Understanding the Genesis of Ore Deposits to Meet the Demands of the 21st Century, Moscow. – 2006. – P. 106–109.
4. Hedenquist J.W. Chapter 7 Exploration for Epithermal Gold Deposits [Text] / J.W. Hedenquist, A. Arribas // Reviews in Economic Geology. – 2000. – V. 13. – P. 245 – 277. DOI: 07410123.

5. Hedenquist J.W. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines [Text] / J.W. Hedenquist, A. Arribas, T.J. Reynolds // *Economic Geology*. – 1998. – V.93. – P. 373 – 404. DOI: 10.2113/gsecongeo.93.4.373.
6. Hedenquist J.W. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration [Text] / J.W. Hedenquist, E. Izawa, A. Arribas, N.C. White // *Resource Geology*. – 1996. – V.1. – P. 9 – 13.
7. 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.
8. Sillitoe R.H. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits, in: *Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids* [Text] / R.H. Sillitoe, J.W. Hedenquist // *Society of Economic Geologists*. – 2003. – P. 315 – 343. DOI: 10.5382/sp.10.16
9. Sillitoe R. H. Intrusion-Related Vein Gold Deposits: Types, Tectono-Magmatic Settings and Difficulties of Distinction from Orogenic Gold Deposits [Text] / R.H. Sillitoe, J.F.H. Thompson // *Resource Geology*. – 1998. – V. 48. – P. 237 – 250. DOI: 10.1111/j.1751-3928.1998.tb00021.x
10. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под ред. А.И. Ханчука. – Владивосток: Даль- наука, 2006. – Кн. 1. – С. 1–572. – Кн. 2. – С. 573–981.
11. Мишин Л.Ф. Вторичные кварциты и их связь с золоторудной минерализацией месторождения Светлое (Россия) (Ульинский прогиб, Охотско-Чукотский вулканогенный пояс) // *Тихоокеанская геология*. – 2011. – Т. 30. – № 4. – С. 32–48.
12. Официальный сайт компании «Polymetal International PLC» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.polymetalinternational.com/ru/assets/where-we-operate/svetloye/#Reserves>.

СТРУКТУРНЫЕ КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ КИСЛОТНО-СУЛЬФАТНОГО ТИПА СРЕДНЕУЛЬИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Лесняк Д.В., Левочская Д.В., Ананьев Ю.С.

Научный руководитель - профессор А.К. Мазуров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Среди эпитеpmальных месторождений золота выделяют два основных типа [1, 2] – высоко-сульфатные (high sulfidation, HS) и низко-сульфатные (low sulfidation, LS). Дополнительно в некоторых рудных районах проявляются промежуточные [3] или переходные месторождения (intermediate sulfidation, IS). Большинство эпитеpmальных золоторудных месторождений локализованы преимущественно в Тихоокеанском, Средиземноморско-Гималайском и Монголо-Охотском подвижных поясах [2, 4, 5]. В России эти месторождения распространены в пределах Охотско-Чукотского вулканического пояса. В настоящей работе изучаются эпитеpmальные месторождения Среднеульинского рудного района (Уенминский рудный узел). В его пределах разведано и разрабатывается рудное поле Светлое кислотно-сульфатного типа, а также известно значительное количество рудопроявлений золота других минеральных типов. Задачей данного исследования является выявление критериев и признаков эпитеpmального золотого оруденения кислотно-сульфатного (высоко-сульфатного) типа для расширения минерально-сырьевой базы действующего предприятия в пределах Среднеульинского рудного района. В основу работы положены материалы дешифрирования современных спектрально-космических снимков [6], а также отчеты предшественников по результатам съемочных и тематических работ. Дешифрирование спектрально-космических снимков Aster и Landsat проводилось с целью уточнения геологического строения, выявления ореолов развития метасоматически измененных пород, выявления структурных особенностей территории.

В результате выполненных исследований были получены следующие основные выводы. В пределах рудного района выявлены вулканотектонические структуры, секущие тела изверженных горных пород и разрывные нарушения. Установлено, что положение Уенминского золоторудного узла полностью контролируется Секчинской вулканотектонической депрессией, а рудное поле Светлое и проявления золота на изученной площади приурочены к остаткам палеовулканических построек. В пределах рудного узла закартированы разрывные нарушения северо-восточного, северо-западного, субмеридионального и субширотного простирания, которые в целом унаследуют основные направления разрывных нарушений Среднеульинского рудного района. По общей значимости разрывные нарушения разделены на «главные» и «прочие». Среди главных структур выделяются два «кольцевых» разлома, расположенные в центральной части площади. Также в границах рудного узла зафиксированы остатки палеовулканических построек, тела секущих изверженных горных пород, а также площадные метасоматиты. Рудное поле Светлое контролируется остатками двух палеовулканических построек центрального типа с кальдерами проседания. Положение самих палеовулканических построек определяется узлом сопряжения Дюльбакинского разлома северо-восточного простирания с разрывными нарушениями северо-западного простирания. Метасоматический ореол, который подчеркивает рудное поле имеет значительную площадь – более 30 км². Основными структурными элементами рудного поля являются две палеовулканические постройки, разрывные нарушения преимущественно северо-восточные (параллельные осевой части Охотско-Чукотского вулканического пояса) и северо-западные. В пределах рудного поля выделены и закартированы ореолы метасоматически измененных горных пород различного состава. Месторождения тяготеют к краевым частям кальдер проседания вулканических аппаратов, узлам сопряжения коровых разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания, и размещаются на площадях с проявленными монокварцевыми, кварц-алунитовыми и кварц-гидрослюдистыми вторичными кварцитами.