

**ЭТАПЫ, СТАДИИ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ РУДООБРАЗУЮЩЕГО ПРОЦЕССА ЭПИТЕРМАЛЬНОГО РУДНОГО ПОЛЯ СВЕТЛОЕ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

**Левочская Д.В.<sup>1,2</sup>, Лесняк Д.В.<sup>1,2</sup>, Якич Т.Ю.<sup>2</sup>**

Научный руководитель профессор Мазуров А.К.

<sup>1</sup>*Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», г. Хабаровск, Россия*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Происхождение гидротермальных флюидов, образующих эпитеpмальные месторождения, может быть различным, от преимущественно, магматических в высокосернистых средах до метеорных в низкосернистых [1, 2, 4, 5, 8]. Месторождения промежуточного типа, как правило, занимают пограничную локацию и обладают набором специфических черт [3, 4, 7, 8]. Одним из основных критериев выделения того или иного типа эпитеpмальных месторождений является вещественный состав как породообразующих, так и рудных минералов. Несмотря на тот факт, что рудное поле Светлое характеризуется обильным распространением сульфатов (алунит, барит, ярозит, микасаит, целестин, англезит, сванбергит и т.д.), что указывает на высокосернистый тип эпитеpмальных систем, рудная минерализация гипогенных сульфидов (галенит, сфалерит, блеклые руды, халькопирит, золото) позволяет отнести его к промежуточному IS-типу [2–4, 7, 8, 10].

Эпитеpмальное 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 [6, 13]. Площадь рудного поля Светлое характеризуется разнообразием гидротермально-метасоматических образований, развивающихся по вулканогенным породам преимущественно кислого (уракская свита (K<sub>2</sub>)) и, реже, средне-основного состава (хетанская свита (K<sub>2</sub>)) [11].

Данное исследование посвящено изучению вещественного состава для определения последовательности минералообразования и основных этапов рудообразования, а также установлению места и роли золота в процессе становления рудного поля Светлое. Из 320 образцов керновых, штупфтных и сколковых проб, отобранных из десяти скважин и трех карьеров рудного поля Светлое изготовлены полированные шлифы и аншлифы. Препараты проанализированы на базе Томского политехнического университета при помощи микроскопа ZEISS Axio Imager.A2m и сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 SBU с приставкой для рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализа OXFORD X-Max 50 с Si/Li кристаллическим детектором. Для изучения физико-химических параметров формирования минералов было изготовлено тридцать двуполированных пластин, изученных с использованием криотермокамеры Lincam THMSG 600 (Великобритания), совмещенной с оптическим микроскопом Carl Zeiss Axio и рамановским спектрометром Thermo Fisher Scientific DXR2 для заверки состава включений. Глинистые минералы определены с использованием рентгенодифракционного анализа (РДА) на рентгеновском дифрактометре Bruker D2 Phaser с CuK излучением.

В результате проведенных комплексных исследований вещественного состава пород установлено, что процессы минералообразования в пределах рудного поля Светлое проходили в три этапа и четыре стадии.

Первая дорудная гидротермальная стадия характеризуется образованием нескольких минеральных зон: кварц-рутил пиритовой, кварц-алунит-диксит-пиритовой и кварц-иллит-хлорит пиритовой, которые отражают латеральную зональность рудного поля Светлое (табл.). Наиболее удаленные фронтальные зоны содержат такие филлосиликаты как хлорит и иллит, тыловые участки содержат гипогенные диксит, каолинит, алунит; на более глубоких горизонтах, вскрывающих метасоматиты, развивающиеся по хетанской свите серицит и пиррофиллит, центральные осевые зоны представлены мономинеральными вторичными кварцитами различной пористости и кавернозности.

*Таблица*

*Схематическая последовательность минералообразования эпитеpмального поля Светлое*

Этапы	Гидротермальный (Дорудный)			Гидротермальный (Рудный)		Гипергенный (Рудный)
Стадии	1			2	3	4
	Минеральные зоны (ассоциации)					
	Кварц-рутил-пиритовая	Кварц-алунит-диксит-пиритовая	Кварц-иллит-хлорит-пиритовая	Кварц-пирит полиметаллическая с золотом	Золото-серебро-теллуридная	Выветривания с высокопробным (переотложенным золотом)

Во вторую гидротермальную рудная стадию попадает кварц-пиритовая минеральная ассоциация с единичными полиметаллическими сульфидами и золотом. В качестве редких вкраплений в эту стадию образуются следующие минералы: золото, галенит, сфалерит, пирротин, халькопирит, киноварь, антимонит, блеклые руды (теннантит-тетраэдрит). Несмотря на редкую сульфидную минерализацию, в данной минеральной ассоциации основное значение имеет рудное золото, основной объем которого осаждался именно в эту стадию. Чаще остальных в трещинах и пустотах образуются самородное золото, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды. Золото отличается отдельной вкрапленностью с размерностью не выше 3 мкм. Данная генерация самородного золота характеризуется следующим составом: 66.1...97.8 % Au, 2.2...10.1 % Ag, в единичных случаях до 24.6 % Cu.

В третью гидротермальную рудную стадию нами выделена золото-серебро-теллуридная минеральная ассоциация. Основным жильным минералом является кварц, рудными – пирит, блеклые руды и халькопирит. Пирит этой стадии представлен двумя морфологическими разновидностями: колломорфным и кристаллическим. Колломорфный пирит слагает центральные части совместных выделений с кристаллическим пиритом, поэтому, несмотря на различные проявления структурного строения, они отнесены к одной стадии соответствующей III генерации пирита. Кристаллический пирит (III) характеризуется разнообразным габитусом кристаллов: псевдопризматическим, тетраэдрическим, пентагондодокаэдрическим и др., отличным от кубической формы более ранних генераций. Пирит (III) находится в тесной парагенетической связи с блеклыми рудами, хемуситом, қавацунитом, с которым он обнаруживает индукционные поверхности роста. Халькопирит (II) в отличие от ранней генерации полиметаллической минеральной ассоциации, где он ассоциирует с кубическим пиритом и повсеместно замещается гипергенным ковеллином, находится в тесной парагенетической связи с блеклыми рудами, в которых образует эмульсионные включения с пиритом (III) содержащим примесь Cu. При этом халькопирит (II) образует совместные ассоциации с теллуридами никеля – мелонитом, свинца – алтаитом, висмута – теллуровисмутитом, сурьмы и висмута – теллурантимоном, золота и серебра – сильванитом, калаверитом, мутманнитом, штюцитом [14].

Заключительным этапом минералообразования является гипергенная стадия, в результате которой формируется минеральный комплекс низкотемпературных сульфатных фаз (ярозит, микасаит, гидроксидов с переотложенным высокопробным (горчичным) золотом) [5, 9], продукты изменения первичных сульфидов (англезит, церуссит, микасаит, диадахит). Золото агрегируется в неправильные формы среди пористого пространства кварцитов. Размер таких агрегатов изменяется от долей мкм до 34.6 мкм. Доля Ag изменяется в пределах 3.2...8.4 %, отмечается примесь Se 2.4...2.6 %, Te 1.1 %.

Таким образом, смена минеральных зон от осевых к периферийным (монокварциты → алунитовые кварциты → диккитовые кварциты → кварц-гидрослюдистые аргиллизиты → пропициты) отражает схему метасоматической зональности эпипермального рудного поля Светлое [12].

Золото формировалось, главным образом, в два этапа – рудный (гипогенный) гидротермальный и гипергенный (за счет восстановления до самородного состояния из теллуридов золота). При этом особенностью рудного золота является наличие в нем примеси меди. Примесь меди также обнаруживается в пирите рудной стадии, что может свидетельствовать о потенциале обнаружения порфирового оруденения на глубине. Согласно данным [1, 3, 4, 7] высокосернистые и среднесернистые эпипермальные месторождения наиболее часто являются продолжающимися верхними частями слепых (скрытых на глубине) порфировых систем.

#### 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. 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.
3. Hedenquist J.W. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines / J.W. Hedenquist, A. Arribas, T.J. Reynolds // Economic Geology. – 1998. – V. 93. – P. 373 – 404. DOI: 10.2113/gsecongeo.93.4.373.
4. Hedenquist J.W. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration / J.W. Hedenquist, E. Izawa, A. Arribas, N.C. White // Resource Geology. – 1996. – V. 1. – P. 9 – 13.
5. Lindgren W., 1933. Mineral deposits. McGraw-Hill Book Company, New York and London.
6. Mishin L.F. New age data on the magmatic rocks from the western sector of the Okhotsk – Chukotka volcanogenic belt / L.F. Mishin, V.V. Akinin, E.L. Mishin // Russian Journal of Pacific Geology. – 2008. – V. 2. – P.385–396.
7. Sillitoe R.H. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits, in: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids / R.H. Sillitoe, J.W. Hedenquist // Society of Economic Geologists. – 2003. – P. 315 – 343. DOI: 10.5382/sp.10.16.
8. 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
9. Tolstykh N.D. Mustard gold of the Gaching ore deposit (Maletoyvayam ore field, Kamchatka, Russia / N.D. Tolstykh, G.A. Palyanova, O.V. Bobrova, E.G. Sidorov // Minerals. – 2019. – V. 9. – P.1-18
10. Yakich T.Y. Mineralogy of the Svetloye epithermal district, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, and its insights for exploration / T.Y. Yakich, Y.S. Ananyev, A.S. Ruban, R.Y. Gavrillov, D.V. Lesnyak, D.V. Levochkaia, O.V. Savinova, M.A. Rudmin // Ore Geology Reviews. – 2021. – V. 136. – DOI: 104257.
11. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. – Под ред. А.И. Ханчука. – Владивосток: Даль- наука, 2006. – Т.1. – 572 с.
12. Гидротермально–метасоматическая зональность, флюидный режим, и типы золотого оруденения участков Эми и Елена эпипермального рудного поля Светлое (Хабаровский край) / Д.В. Левочская, Т.Ю. Якич, Д.В. Лесняк, Ю.С. Ананьев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 10 – С. 17–32.
13. Левочская Д.В., Лесняк Д.В., Якич Т.Ю. Теллуридная минерализация эпипермального золоторудного поля Светлое (Хабаровский край) // Проблемы геологии и освоения недр труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. – 2021. – Т. 42. – С. 98–100.
14. 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.