

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХАМАМА (ЕГИПЕТ)

*Махмуд А.Ш. \*, (Российский государственный геологоразведочный университет, halim.geologist@mail.ru), Дьяконов В.В., (Российский государственный геологоразведочный университет, mdf.rudn@mail.ru)*

### Аннотация

Месторождение Хамама - крупномасштабный пример очень распространенного золото-колчеданного типа месторождения в центральной части Восточной Пустыни Египта. По данным опробования керн разведочных скважин из месторождения Хамама, выявлена вертикальная зональность, отвечающая формированию коры выветривания, состоящей из четырех интервалов (сверху-вниз): а. Зона окисления (железная шляпа или госсан), б. Зона выщелачивания, в. Зона вторичного обогащения, и г. Зона первичного оруденения. Для каждого интервала выявлен минеральный состав и содержания полезных компонентов.

**Ключевые слова:** Хамама, Золото, Восточная Пустыня, Зональность, колчеданное.

Месторождение Хамама расположено в центральной части Восточной Пустыни Египта. Минерализация заполняет зону разлома между лежащим блоком, сложенным базальтовыми лавами и весячим блоком, сложенным туфами риолитов. Рудные тела представлены кварц-карбонатными жилами. Основная минерализация представлена минеральной ассоциацией — кварц + доломит + пирит + сфалерит + халькопирит + галенит + блеклые руды. Эти породы образовались из низкотемпературных гидротермальных растворов (эманации газа из магмы), заполняющих зоны разломов в эпоху первоначальной (нижнепротерозойской) эпохи магматизма.

Рудная минерализация группируется в основных трех участках; Западная Хамама, Центральная Хамама и Восточная Хамама. Западная Хамама является более продуктивной на Au и Ag, в то время как Восточная Хамама содержит большие количества Zn, Pb и Cu. Запасы золота западного участка оценены на уровне «Предполагаемых минеральных ресурсов» (т.е. оценены с низким уровнем достоверности) в 341 тысячу унций золотого эквивалента (AuEq) и «Обозначенными минеральными ресурсами» (т.е. может быть добыто экономически целесообразным способом) в 137 тысяч унций AuEq [3].

Вслед за В.И.Смирновым [1], нами выделены 4 основные зоны на месторождении Хамама (сверху-вниз) различающиеся по минералогическим и геохимическим закономерностям. Использованная база данных и образцы керн были предоставлены нам золоторазведочной компанией (Aton Resources Inc.):

### **а. Зона окисления (от 0 до 35 м)**

Согласно предыдущим сообщениям из программ бурения, проводимых в этом районе, зона окисления погружается под поверхность до средней глубины около 35 м [2]. Пустынный район Хамама характеризуется аридным климатом, где отсутствует сплошной почвенно-растительный покров. В этой связи кислород не расходуется на его формирование и насыщает грунтовые воды. В результате чего образуется окислительный барьер, что привело к обогащению одними элементами и истощению другими, в соответствии с их физико-химическими свойствами, особенно растворимостью, сопровождающуюся глубокими минералогическими изменениями. Таким образом, руды на поверхности месторождения характеризуется рыхлой текстурой, обусловленной процессами гипергенного выщелачивания и иногда сохраняются фрагменты «губок» пиритового и сфалерит-пиритового состава.

Низкотемпературные гидротермальные растворы и гипергенные процессы, привели к повсеместному распространению вторичных медных минералов и обогащению золота. Эта зона показывает средние содержания Zn (0.43%), Pb (0.1%), Cu (451 г/т), Ag (16 г/т) и Au (0,55 г/т). В общем, зона окисления обогащена Au, Cu, Fe, Sb, As и Hg и выщелачивается из Ag, Te, V, Co, Cr и Ni.

#### **б. Зона выщелачивания (от 35 до 85 м)**

Минеральная ассоциация этой зоны в основном богата пиритами с низким содержанием сфалерита и минералов меди. Пирит в этой зоне наблюдается в двух формах, с переходной смешанной формой между ними. Первая представлена нормальными идиоморфными, кубической формой, кристаллами, с интенсивной трещиноватостью. Вторая является основной формой, представленной фрамбоидальным пиритом. Переходная форма представлена кубиками пирита с вытравленными бактериями краями. Фрамбоиды образуются за счет переработки первичных крупнозернистых пиритов бактериями в восстановительной среде при низких температурах. Золото в этих фрамбоидах встречается редко. Концентрация Au снижается до 0,19 г/т, а Ag - до 9 г/т. Кроме того, зона выщелачивания имеет более низкую концентрацию Pb, примерно в два раза ниже, чем в зоне окисления. Средняя концентрация Cu снижается до 280 г/т, содержание Sb резко снижается до менее 1 г/т. Zn, As, Hg показывают небольшое снижение, в то время как Cd показывает небольшое увеличение концентраций.

#### **в. Зона вторичного обогащения (от 85 до 135 м)**

Эта зона характеризуется обилием текстур обрастания и замещения вторичной сульфидной минерализацией, включая сульфидные минералы меди, такие как ковеллин, халькозин и борнит. Халькопирит в этой зоне находится в максимальных количествах. Халькопирит встречается в виде ксеноморфных зерен в сростании с рудообразующими сульфидами и в виде эмульсиевидной вкрапленности в сфалерите, а также образует поздние прожилки в сфалерит-пиритовой ассоциации. Халькопирит первой генерации наиболее часто встречается со сфалеритом в составе ксеноморфнозернистых скоплений, приуроченных к межзерновым пространствам пирита и заполняет в них трещины. Халькопирит второй генерации - это не только эмульсиевидные включения в сфалерите, но и вероятно более поздние ксеноморфные скопления, свидетельствующие, что после отложения основной массы сфалерита, не прекратилось поступление меденосных рудообразующих растворов. Немного сфалерита и галенита можно найти в виде включения в карбонатной матрице или в массивных пиритовых массах. Карбонаты этой зоны существуют в основном в двух генерациях, первая из которых представляет собой доломитовую массу, содержащую пирит и кварц. Вторая - вторичные жилы кальцита, которые рассекают силикатные минералы, пиритовые жилы и более раннюю карбонатную матрицу. Во многих тонких полированных срезах наблюдалось растворение силикатов (кварца и туфов) высокощелочными растворами с последующей карбонатной цементацией, по следующей реакции [4] ( $\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_4\text{SiO}_4 + \text{H}^+$ ). Также гидротермальный раствор образует реакционный ободок с карбонатами и силикатами в полостях. Эта зона выражает средние концентрации Zn (0.39%), Pb (626 г/т), As (500 г/т), Cd (400 г/т), Cu (340 г/т), Hg (150 г/т), Ag (15 г/т) и Au (0,34 г/т).

#### **г. Зона первичного оруденения (> 135 м)**

Глубинный интервал первичной зоны очень трудно определить, но мы можем подтвердить, что он не ниже 80 м от поверхности. Образцы первичной руды обогащены пиритом и сфалеритом больше, чем медными минералами. Они состоят в среднем из 30% модального кварца с аморфным кремнеземом, 25% доломита, 20% пирита, 10% кальцита, 10% других сульфидов, 5% полевого шпата. В этой зоне пирит

регистрируется в двух поколениях: а) рано сформировавшиеся крупнозернистые идиоморфные кубики в кварц-карбонатной матрице и б) мелкозернистые скелетные частицы, распределенные в серицитизированный полевой шпат. Устанавливается более поздняя карбонатизация по отношению к кварцу. Сфалерит встречается в виде сложных сростаний в виде «самостоятельных» ксеноморфных зерен (агрегатов). При микроскопическом изучении установлено, что отдельные зерна практически не содержат включений сульфидов и нерудных минералов, трещиноваты, границы зерен извилистые. Сфалерит корродируется карбонатами, он явно более ранний минерал, образовавшийся в первый этап. Сфалерит ассоциирует как с пиритом, так и с халькопиритом, блеклой рудой и галенитом в виде аллотриоморфнозернистых скоплений, где его межзерновые пространства приурочены к порообразующей матрице. Реликты кварца с корродированными краями часто встречаются в тонкой карбонатной матрице. Золото редко встречается в свободной форме. Оно прикрепляется в виде наноразмерных гранул к кристаллической решетке сульфидных минералов, особенно пирита. В этой зоне средние содержания составляют Zn (0.38%), Pb (668 г/т), Cu (300 г/т) и Au (0.42 г/т), а также самый высокий уровень содержания Ag (27 г/т). Кроме того, он содержит массивные сульфидные узелки, имеющие самое высокое содержание Au и Ag (2 и 95 г/т соответственно).

### Литература

1. Смирнов С.С., Зона окисления сульфидных месторождений//М.; Л.: Изд. АН СССР, 1955, 332 с.
2. Aton Resources, For immediate release, Aton begins Remote Sensing and Spectral Imaging survey over its 40km gold mineralized Abu Marawat concession to further define its multiple exploration sites in this mining district. 2016, Company report: <https://www.atonresources.com/site/assets/files/1197/aton-resources-inc-press-release-remote-sensing-aug-29-2016-1.pdf/>
3. Aton Resources, Hamama west deposit, Abu Marawat concession, Arab Republic of Egypt, 2017, NI 43-101, Company report: [https://www.atonresources.com/site/assets/files/1172/hamama\\_west\\_jan2017\\_ni43-101tr\\_v3\\_final.pdf](https://www.atonresources.com/site/assets/files/1172/hamama_west_jan2017_ni43-101tr_v3_final.pdf)
4. Utenkov V.A., Balla Z., Sallay E. Petrology of the Mórágý Granite (SW Hungary) based on the Bátaapáti (Üveghuta) boreholes, Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 2000-2001, 2003, 153-185.