

На правах рукописи

Абделхалим

МАХМУД АБДЕЛХАЛИМ ШОКРИ МОСТАФА

**ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЗОЛОТОРУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХАМАМА, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ВОСТОЧНОЙ
ПУСТЫНИ ЕГИПТА**

Специальность 25.00.11 Геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения.

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва 2019

Работа выполнена на кафедре месторождений полезных ископаемых и их разведки в ФГБОУ ВО «Российский Государственный Геологоразведочный Университет Имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ).

Научный руководитель:

Дьяконов Виктор Васильевич

Доктор геолого-минералогических наук,
Профессор ФГБОУ ВО «Российский
Государственный Геологоразведочный
Университет Имени Серго Орджоникидзе»
(МГРИ).

Официальные оппоненты:

Волков Александр Владимирович

Доктор геолого-минералогических наук, зав.
лабораторией «Геологии рудных месторождений»,
Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии Российской
академии наук
(ИГЕМ РАН)

Мансуров Ринат Халитович

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент
ФГБУ «Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных и
благородных металлов» (ЦНИГРИ)

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Московский Государственный
Университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ),
Геологический факультет

Защита диссертации состоится 20 февраля 2020 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д212.121.04 при Российском Государственном Геологоразведочного Университета Имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) по адресу: Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23., зал диссертационных советов (каб. 4-73).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Российского Государственного Геологоразведочного Университета Имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23, <http://mgri.ru/>

Автореферат разослан «__» Декабря 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д212.121.04



С.Д. Ганова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последние годы в Египте наблюдается тенденция к наращиванию объемов добычи полезных ископаемых, особенно золота, что, в свою очередь, требует увеличения усилий и восполнения минерально-сырьевой базы по разведке. Восточная пустыня (ВП) является уникальной территорией с большим разнообразием полезных ископаемых. Поскольку рудники являются градообразующими предприятиями, Правительство Египта создаёт проект «Золотой Треугольник». Выполненные нами исследования месторождения Хамама являются составной частью этого проекта. При этом наша работа делится на две части. Первая часть посвящена общему изучению геологического строения и эволюции центральной части Восточной пустыни (ЦВП), а вторая часть – детальному изучению полиметаллического колчеданного типа золоторудного месторождения Хамама. Из колчеданных месторождений добывают не только драгоценные металлы, как Au и Ag, но и цветные металлы, как Cu, Zn, Pb. Они также представляют собой важный источник Co, Sn, Cd, Te, Bi, Mn, Ge, Ga и Ba а некоторые из них также содержат рентабельное количество Hg, Sb, Se, In и As (Hannington et al., 1999b; Allen et al., 2002). При попутной добыче, они дают компаниям гарантию от снижения себестоимости цены металлов. Как опубликовано «Aton Resources Inc.», предполагаемый ресурс добычи (бортное содержание более 0,5 г/т Au) месторождения Хамама составляет 2,58 млн. т. слабо окисленной руды, 5,36 млн.т первичной руды и 0,22 млн.т рыхлой руды коры выветривания (всего 8,21 млн.т) при 29,7 г/т Ag и 0,87 г/т Au (Aton Resources, 2017). Западная Хамама располагает «Предполагаемыми минеральными ресурсами» в 341 тысячу унций золотого эквивалента «AuEq» и «Обозначенными минеральными ресурсами» в 137 тысяч унций AuEq (Aton Resources, 2017).

Цель работы. 1. Изучить геологическое строение территории ЦВП с точки зрения палеовулканической реконструкции; 2. Дать прогнозирование рудопроявлений и новых месторождений на основе предложенной палеовулканической модели; 3. Улучшить прогнозно-поисковые критерии для поисков рудных концентраций в крупных палеовулканических структурах; 4. Ставить конкретные направления для добычи руд Хамама, на основании результатов собственных исследований и анализа фондовых материалов; 5. Выявить условия локализации руд месторождения Хамама.

Основные задачи работы. 1. Выявить особенности структурно-тектонического строения района Хамамы; 2. Выполнить детальную статистическую обработку результатов геохимического опробования (базы данных); 3. Определить минеральный состав и парагенезис золото- и серебросодержащих руд Хамамы; 4. Обработать в программах Micromine и др. результаты геохимического опробования горных пород и керн разведочных скважин; 5. На основе полученных результатов анализа ICP-MS выявить геохимические характеристики оруденения, вмещающих и гидротермально измененных пород, чтобы определить происхождение, генетические связи и процессы рудообразования; 6. Описать химический состав и появление золота внутри рудных минералов, на основе выполненных автором EDX анализов; 7. Выполнить 3D моделирование по

результатам геохимического опробования для выявления и оценки богатых горизонтов золоторудной минерализации; 8. Провести анализ морфологии и внутренней структуры зерен циркона из купола Митик; 9. Определить происхождение вмещающих карбонатных пород на основе изотопных анализов углерода и кислорода.

Фактический материал и методика исследований.

А) В процессе полевых работ выполнено около 200 км пешеходных геологических маршрутов, с целью выяснения стратиграфической последовательности залегания горных пород. Было отобрано около 200 образцов из района Хамама для характеристики минералогического и геохимического состава руд и вмещающих пород, а также отобрано 15 образцов из района Митик для характеристики минералогического состава и выделения циркона. Впервые, использованы методы сравнительного анализа палеовулканических структур для выявления последовательности орогенезов. Во-вторых, изучения стратиграфии, геологического картирования, пространственного распределения пород, формы распределения систем разломов, и структурного анализа. В-третьих, создание модели со схематическими иллюстрациями геологических разрезов.

Б) В период камеральных работ было описано 120 прозрачных полированных шлифов; подготовлено 5 образцов для выделения циркона; изучено 18 рудных прозрачных полированных шлифов на сканирующем микроскопе с EDX-анализами; выполнено 15 рентгенофлуоресцентных анализов (XRF) по образцами из вмещающих метавулканических пород; выполнено 28 ICP-MS проб рудных образцов; использовано базу данных "Aton Resources" включено 8 440 проб Ag, Cu, Pb и Zn из скважин и 4 475 проб из траншей были использованы для статистических исследований; некоторые геологические программы (ArcGIS, MicroMine и др.) были применены для создания сечений, 3D-моделей и контурных карт распределения элементов по поверхности методом "кригинг"; выполнено изотопный анализ C^{13} и O^{18} семи карбонатных образцов, отобраны вручную из карбонатных и кварц-карбонатных жил, гнезд и линз, из керна бурения по месторождению Хамама.

Научная новизна. Впервые для ВП Египта проведена палеовулканическая реконструкция и выявлена крупная палеовулканическая структура в ЦВП. Установлена приуроченность промышленного колчеданного оруденения к метавулканическим толщам крупного, ранее не известного, палеовулканического сооружения. Установлены два тектоно-магматических цикла для эволюции фундамента ЦВП, в районе метаморфического гнейсового купола Митик. По результатам дешифрирования космоснимков в пределах ЦВП выявлена основная закономерность размещения тектонических и структурных элементов. В результате проведенных исследований получены новые данные по геологическому строению и условиям локализации золото-серебряной колчеданной полиметаллической минерализации в районе Хамама. Описана минералогическая и геохимическая вертикальная зональность месторождения Хамама. Представлена последовательность образования рудных и нерудных

минералов (парагенезис) месторождения Хамама. Определены аномальные зоны для Au, Ag, Zn, Cu, Pb и других элементов на поверхности и в вертикальном разрезе на месторождении Хамама.

Практическая значимость. 1. Предложен новый взгляд на геологическое строение и последовательность образования горных пород ЦВП с позиции палеовулканической реконструкции; 2. В результате выполненных исследований предложен комплекс методов при изучении оруденения, который позволил наметить новые перспективные участки на выявление золотого, полиметаллического и железного оруденения; 3. Предложенная методика исследований палеовулканических структур может быть использована в аналогичных геологических условиях; 4. Результаты трехмерного моделирования базы данных керна позволили определить поверхностные и подземные аномалии, которые помогают правильно выбрать место для проектирования карьера и наилучшую глубину добычи металла; 5. Определение формы золота с помощью сканирующего электронного микроскопа в пирите и других рудных минералах помогают выбрать оптимальный метод для его обогащения.

Апробация работы. Основные положения диссертации опубликованы в 7 статьях (5 в печати) и доложены на научных конференциях. В 2018г. на 13-ой международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (г. Москва, МГРИ), и на XI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» (Пермь, ПГНИУ). В 2019г. на 14-ая Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (г. Москва, МГРИ) и на XII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» (Пермь, ПГНИУ).

Структура работ. Диссертация содержит 164 страницы, состоит из введения, семи глав и заключения, 17 таблиц и 89 рисунков, и списка литературы из 180 наименований. В автореферате материал изложен по защищаемым положениям.

Основные защищаемые положения.

Тезис 1. *В пределах Центральной части Восточной пустыни Египта выявлено палеовулканическое сооружение центрального типа. Фундамент сооружения представлен глубоко метаморфизованными породами Формации Митик. В строении палеовулкана принимают участие породы двух дифференцированных толщ, метабаза́лт – метариолитовых формаций – «Метавулканиты» и вулканиты Дохан-Аталла.*

Тезис 2. *Эндогенные руды месторождения Хамама принадлежат к гидротермально-метасоматической золотосодержащей колчеданно-полиметаллической формации. Формирование руд проходило не менее, чем в три стадии минерализации: 1 – кварц-пиритовую, 2 – галенит-сфалеритовую и 3 – карбонат-баритовую. В результате процессов гипергенного обогащения, наночастицы золото в кристаллической решетке пирита освобождались и*

сконцентрировали вдоль трещин, между зонами окисления или осажжены вдоль границы между реликтовыми ядрами пирита и окислительным ободком.

Тезис 3. В вертикальном строении месторождения Хамама выделяются четыре зоны (сверху-вниз) отличающиеся по минералогическим и геохимическим характеристикам: а) зона окисления (железная шляпа или госсан); б) зона выщелачивания; в) зона вторичного обогащения и г) зона первичного оруденения.

Тезис 4. Статистическая обработка результатов опробования поверхности, позволила выявить пространственное распределение аномальных содержаний элементов: а) золота и серебра на западном участке, б) свинца, меди и цинка на восточном участке. Обработка данных опробования керна позволила создать 3D модель месторождения и выявить что, зона окисления является главным рудным интервалом.

Благодарность. Автор выражает искреннюю признательность и благодарность своему научному руководителю профессору, д.г.-м.н., заведующему кафедрой общей геологии и геологического картирования В.В. Дьяконову, профессорско-преподавательскому составу кафедры месторождений полезных ископаемых (МГРИ), заведующему кафедрой профессору, д.г.-м.н., Игнатову П.А. (МГРИ), и доценту, к.г.-м.н. Малютину С.А. (МГРИ) за ценные замечания, которые улучшили научное содержание диссертации. Мы благодарны компании "Aton Resources" за разрешение и помощь с образцами и базами данных.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. В пределах Центральной части Восточной пустыни Египта выявлено палеовулканическое сооружение центрального типа. Фундамент сооружения представлен глубоко метаморфизованными породами Формации Митик. В строении палеовулкана принимают участие породы двух дифференцированных толщ, метабаза́лт – метариолитовых формаций – «Метавулканиты» и вулканиты Дохан-Аталла.

Рассматриваемая территория ЦВП расположена в пределах крупной платформенной структуры, известной под названием Аравийско-Нубийского Щита. В пределах ЦВП проявления два цикла вулканизма образуя палеовулканическую структуру, где верхнепротерозойские и нижнепалеозойские магматические породы залегают непосредственно на древнем метаморфическом фундаменте протерозойского возраста, представленном разнообразными гнейсами и метаморфическими сланцами. В пределах ЦВП выделяются следующие структурные этажи (Рис. 1, Рис. 2).

1. Нижний протерозойский структурный этаж, сложенный глубокометаморфизованными породами, относимых к формации Митик. Породы формации слагают структуру Митик в центральной части исследуемой территории (Рис. 1). Структурно-литологические особенности пород формации, позволяют выделить среди них два самостоятельных структурных яруса, их можно рассматривать в качестве двух пачек – гранитогнейсы Умм Бааниб и метаморфические сланцы Абу Фаннани, сформировавшиеся в кадомскую эпоху тектогенеза.

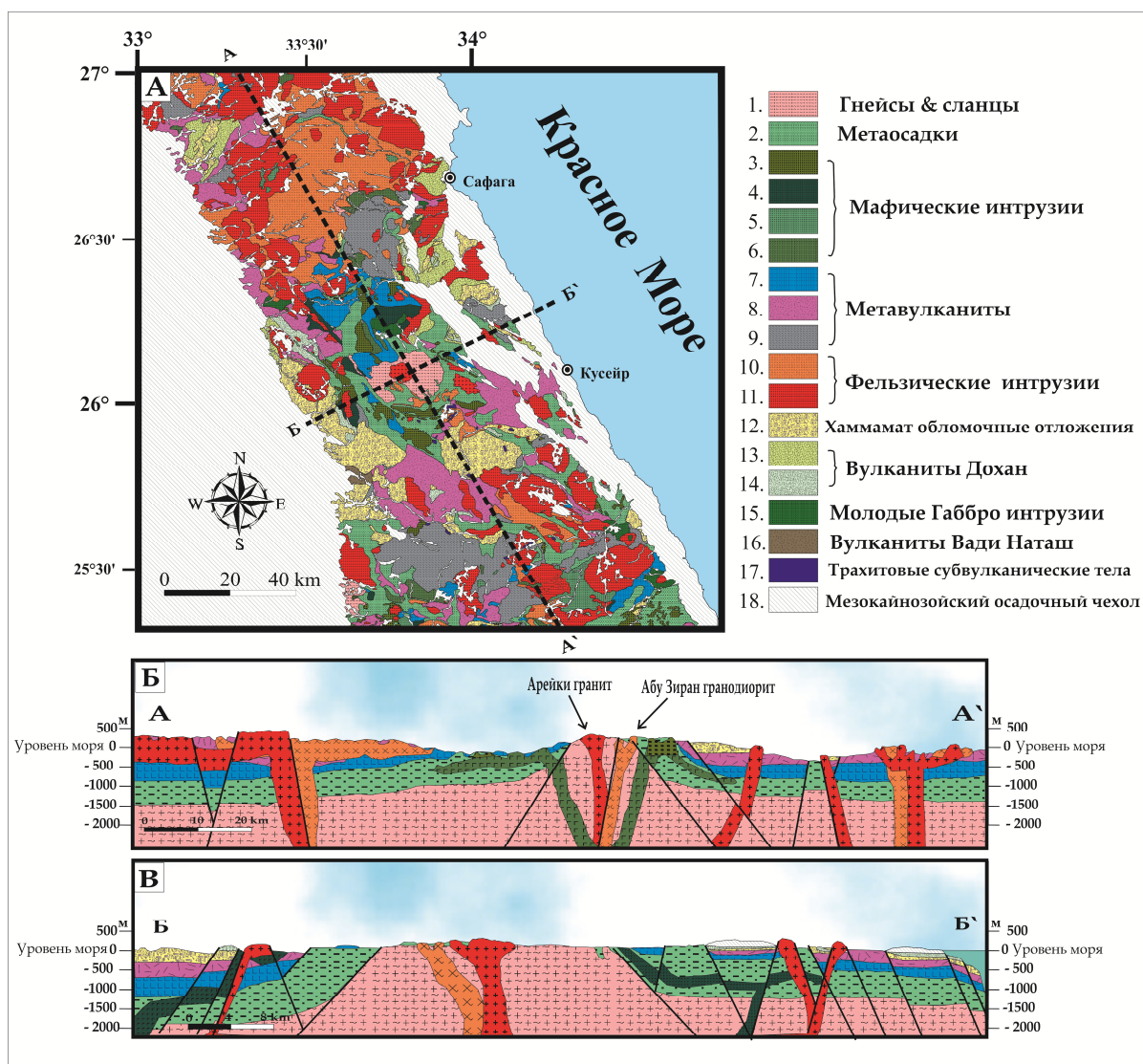


Рис. 1. Геологическая карта исследованной территории в центральной части Восточной пустыни Египта, вокруг купола Митик, по (Сопосо 1987) с редактированием и (Б), (В) схематические геологические разрезы (По EGSMA, 1979 с редактированием). Условные обозначения: 1- меланократовые гнейсы и сланцы средней и высокой степени метаморфизма, 2- метаосадки (метаморфизованные шельфовые отложения), 3- серпентиниты, тальк-карбонат и родственные породы, 4- метагаббро, 5-нерасчлененные метагаббро - метадиорит, 6- интрузивные метагаббро - метадиориты, 7 - основные метавулканиды, 8 - фельзитический к промежуточным метавулканидам с метапирокластитами, 9 - нерасчлененные метавулканиды, 10- более древние гранитоиды (известково-щелочные кварцевые диориты до гранодиоритов), 11- гранитоиды, 12- обломочные породы группы Хаммамат (типа молассы от конгломератов до алевролитов), 13- андезитовые вулканиды Дохан, 15- риолитовые доханские вулканиды (или постгаммаматский фельзит), 16 - свежие габбро, нориты и троктолиты, 17 - фельзиты Постхаммамата, фельзитовый порфир и кварцевый порфир, 18 - трахиты, 19 - мезокайнозойский осадочный чехол.

На северо-востоке гранитогнейсы вступает в контакт с метавулканидами верхнего Венда V₂ (Sabet et al., 1977). На юго-западе гранитогнейсы контактируют по разлому с метаморфическими сланцами V₁. Гранитогнейсы Умм Бааниб отделены от метаморфических покровов Абу Фаннани на северо-западе

"катаклазитом" или "милонитовым панцирем" богатым кварцем, как описано (Andresen et al., 2010). Этот разделитель состоит из мелкозернистого метапелитового гранатового сланца. Основываясь на их структурном и стратиграфическом положении, (El-Gaby et al., 1984, 1988) рассматривали гнейсовые купола как протерозойскую структуру. Тем не менее, гнейсы показывают абсолютный возраст моложе, чем наложенные метаосадки и метавулканы (Рис. 2).

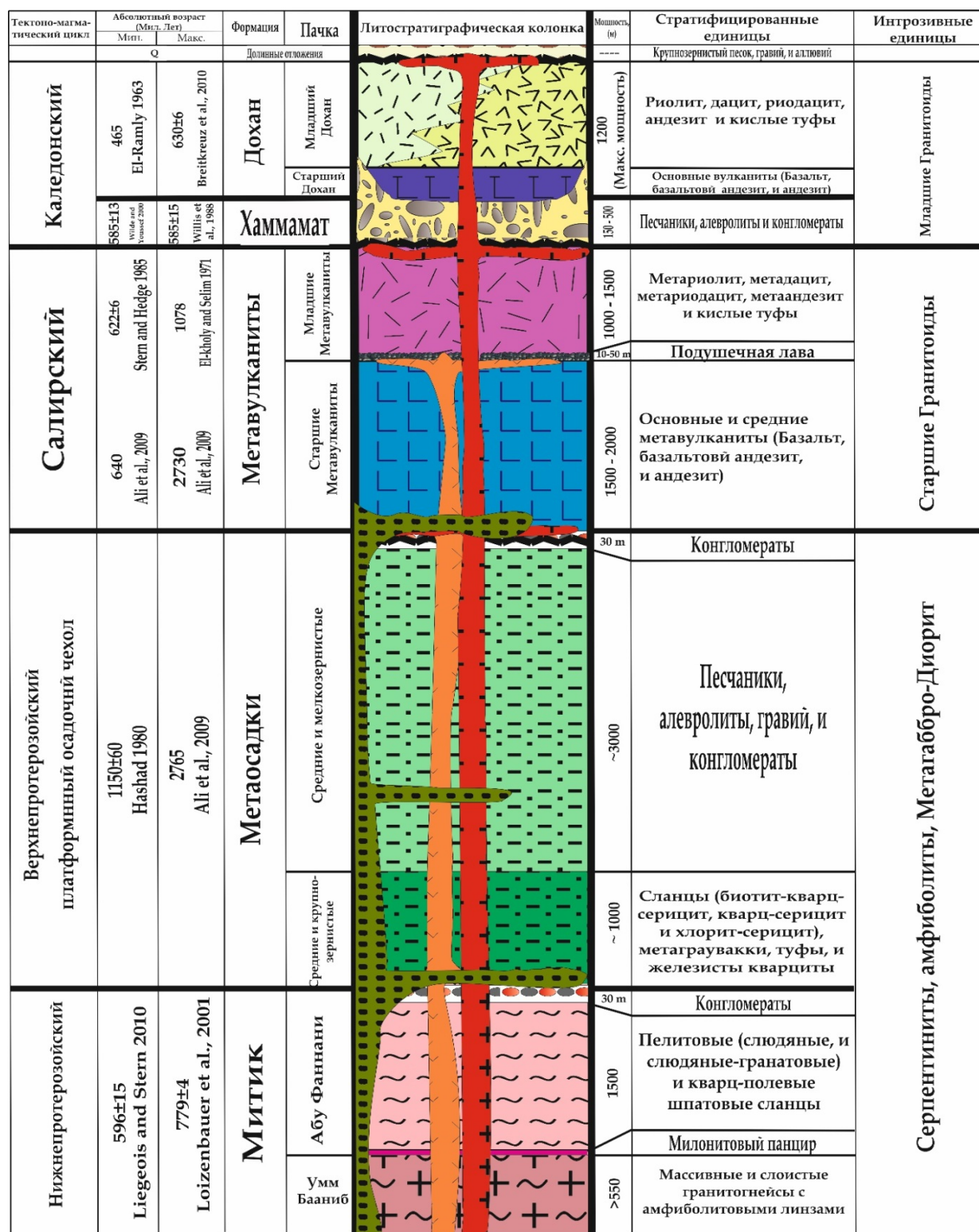


Рис. 2. Стратиграфическая колонка пород центральной части Восточной пустыни Египта.

Stern 2018 объяснил это процессом частичного переплавления - «омоложения» гнейсов, за счет влияния более позднего проявления магматической деятельности. Andresen et al., 2009 считали, что эти более молодые возрасты представляют собой главное событие деформации в Митике в эпоху 610–605 млн. лет назад.

2. Верхнепротерозойский структурный этаж – платформенный чехол, сложен терригенными отложениями, объединяемые в формацию метаосадков. Наиболее полно они располагается по внешнему контуру купола Митик. В основании формации повсеместно картируется базальный горизонт конгломератов, содержащий многочисленные гальки гранитогнейсов и метаморфических сланцев. Выше залегают мелкообломочные фракции и горизонты кремнистых и серицит - кремнистых сланцев. Отложения чехла несогласно перекрывают нижележащие метаморфические отложения формации Митик. Этот платформенный чехол состоит из широкого спектра осадочных пород, их легко заметить в поле благодаря их выраженной слоистости. К западу от купола Митик, в Вади-Умм-Эш-Зарка, отложения представлены грубозернистыми обломочными породами. Sabet et al., 1977 разделил их на полимиктовые конгломераты, граувакки и песчаники, образующие слой мощностью 400 м. В верхней части последовательности проявлены кремнистые и серицит-кремнистые сланцы, которые имеют общую мощность около 3000 м. Однако различные разновидности пород этой формации иногда могут постепенно переходить друг в друга без резких различий. Они в основном характеризуются флишевыми характеристиками и в основном состоят из пелитовых до псаммопелитовых и граувакковых отложений (El-Kassas and Bakhit, 1989). Этот древний протерозойский платформенный покров подвергался двум основным циклам тектоно-магматической активности. Первый отвечает за формирование метавулканической толщи, а второй отвечает за образование формации вулканитов Дохан-Аталла.

3. Позднепротерозойский – раннепалеозойский структурный этаж, сложен отложениями салаирской эпохи тектогенеза. Представлен вулканогенными отложениями, выделяемых в формацию метавулканитов. Эти отложения несогласно перекрывают нижележащие породы формации метаосадков и метаморфиты формации Митик. В основании картируются метаконгломераты, в виде отдельных линз и горизонтов, протяженностью от 100 метров до нескольких километров и мощностью до 30 метров (Habib et al., 1985a, b). Они содержат, среди прочих фрагментов, гальки амфиболитов, гранитогнейсов нижней формации Митик. В вышележащих метавулканитах четко выделяются два подъяруса, различающихся по характеру развития, типам накапливающихся пород, структурным особенностям залегания (Рис. 2, Рис. 3 б). Нижний - мафический, состоящий из лав и пирокластики основного состава (называемые древними метавулканитами) и верхний - состоящий вверх по разрезам из метадацитов, метариодацитов, метариолитов, переслаивающимися с кислыми туфами (называемые молодыми метавулканитами по Stern 1979). В этих метавулканитах широким развитием пользуются различные тела серпентинитов, амфиболитов и габбро-диоритов. Эти метавулканиты и пирокластики

представляют собой зоны развития как удаленной, так и склоновой фаций (Рис. 3 б). Древние гранитоиды (серые граниты, включающие в себя биотитовые и биотит-роговообманковые граниты, тоналиты и кварцевые диориты) связаны с формацией метавулканитов, в основном развиваются при контакте древней мафической и молодой фельзитовой толщ.

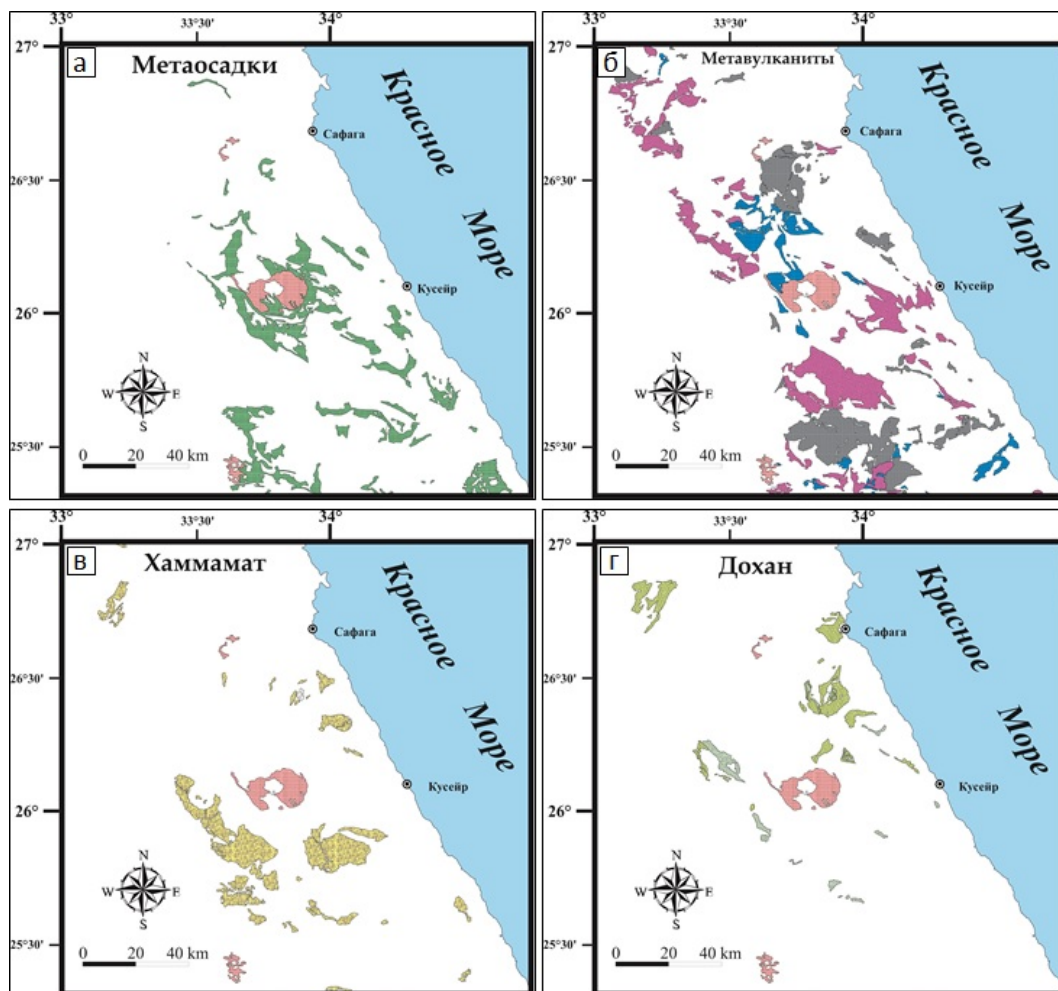


Рис. 3. Геологические карты, иллюстрирующие пространственное распределение а) Метаосадков, б) метавулканитов, в) обломочных пород Хаммамат, и г) Вулканитов Дохан-Аталла вокруг гнейсового ядра Митик (по Сопосо, 1987, с редактированием).

4. Палеозойский структурный этаж, сложен продуктами каледонского тектогенеза. Выявить среди них элементы подъярусов достаточно проблематично, так как они слагают небольшие по площади поля в виде эрозионных останцев, разбросанные по периферии структуры. К ним относим породы двух формаций – терригенной, породы которой перекрывают отложения метавулканитов, известной под названием группа Хаммамат (Рис. 3 в). А так же вулканиты формации Дохан, представленные в низах разрезов мафическими разновидностями эффузивов, выше сменяющихся кислыми дифференциатами эффузивного магматизма в виде фельзитов и пирокластики формации Аталла (Рис. 3 г). К этой эпохи приурочены молодые гранитоидные интрузии (красные или розовые граниты, включающие в себя средне-крупнозернистые биотитовые и лейкократовые граниты, аляскитовые граниты).

Система разломов на этой территории представляет собой два цикла развития: (а) Древняя система разломов была сформирована на более ранних этапах развития палеовулканической структуры. Это выражается фрагментами радиальных разломов разных направлений, из центра структуры Митик, и фрагментами кольцевых разломов, окружающих структуру Митик и более поздние магматические интрузии (Рис. 4).

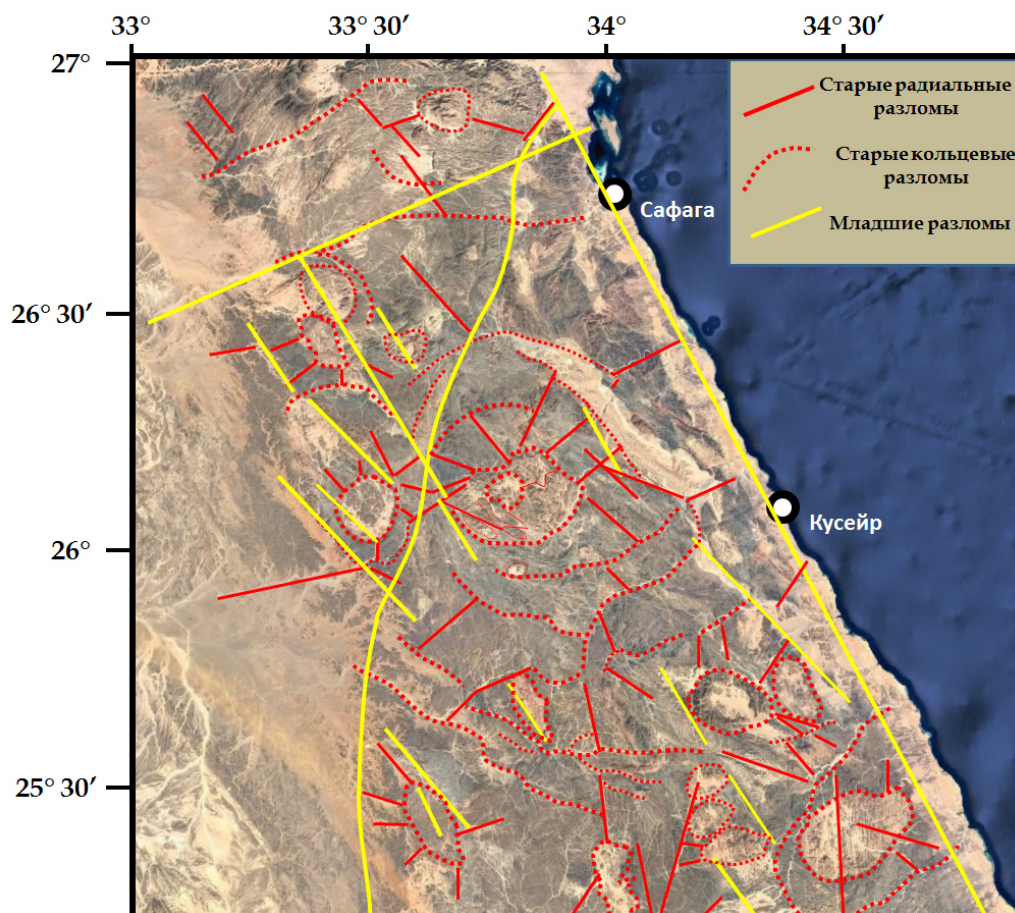


Рис. 4. Система молодых и древних разломов на исследуемой территории.

Последние, скорее всего, соответствуют времени куполообразования. Радиальные разломы служили каналами для внедрения даек, а также зон более поздних гидротермальных растворов. Вокруг центра структуры Митик вдоль этих кольцевых разломов скопились вулканогенно-осадочные, вулканогенные и осадочные толщи (Рис. 1, Рис. 4), (б) Молодая Система разломов, представленная крупными разломами СЗ и перпендикулярного им направления, которые называются Системой разлома Нажд. Система разломов Нажд сформировалась в эпоху альпийской орогении. Это привело к созданию сложноскладчатой, мозаично-блоковой структуры, в которой преобладали вертикальные движения блоков крупных размеров.

Кольцеобразное распределение стратифицированных фаций вокруг купола Митик и характер положения тектонических нарушений, указывают на существование огромного палеовулканического сооружения состоявших из двух магматических цикла, с центром структуры, расположенным в районе купола Митик, размером около 170 * 60 км.

2. Эндогенные руды месторождения Хамама принадлежат к гидротермально-метасоматической золотосодержащей колчеданно-полиметаллической формации. Формирование руд прошло не менее, чем в три стадии минерализации: 1 – кварц-пиритовую, 2 – галенит-сфалеритовую и 3 – карбонат-баритовую. В результате процессов гипергенного обогащения, наночастицы золото в кристаллической решетке пирита освобождались и сконцентрировали вдоль трещин, между зонами окисления или осаждены вдоль границы между реликтовыми ядрами пирита и окислительным ободком.

В строении района месторождения участвуют горные породы, относимые к метавулканогенной формации. Метавулканические породы показывают широкий спектр состава, от основных до кислых. Они представлены в основном метабазальтом, пиллоу лавой, базальтовым метаандезитом, метаандезитом, метадацитом и метариолитом, встречающиеся в различных количественных взаимоотношениях. Юго-восточная часть района занята полосчатыми туфами, которые интенсивно пронизаны железистым раствором. В северо-восточной части района обнаружен обширный рой риолитовых даек, нерегулярно секущий молодой гранит. Затем дайки продолжают радиально и раздельно рассекают метавулканические породы в центральной части рудеого тела (Рис. 5).

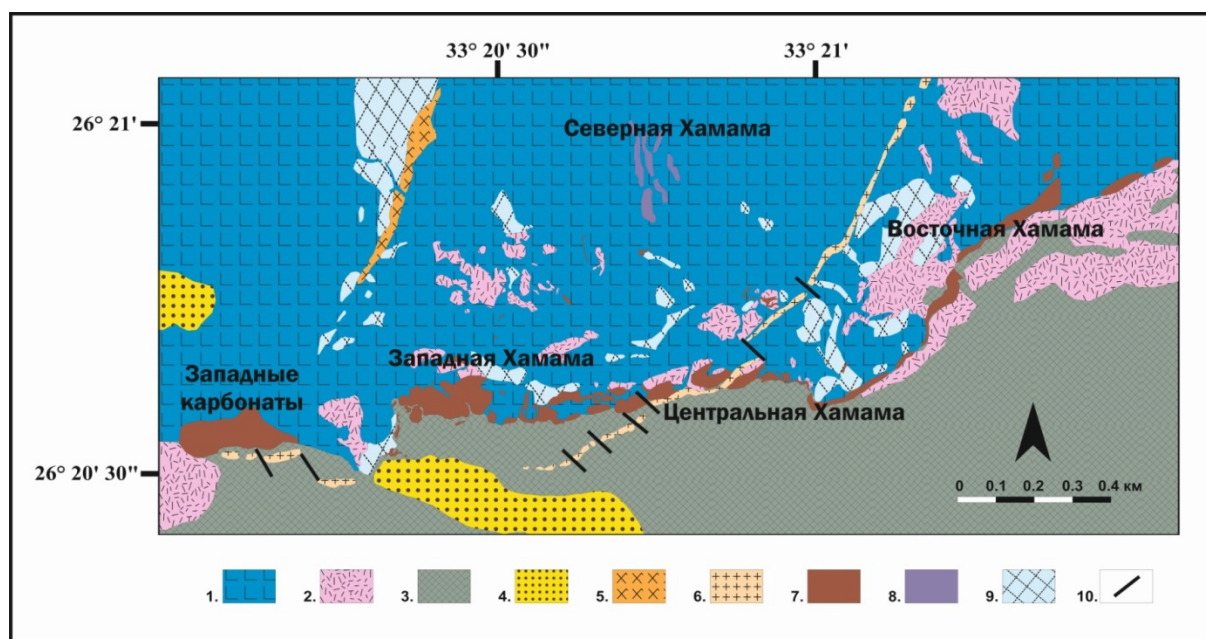


Рис. 5. Геологическая карта зон минерализации (Aton Resources, 2018). Условные обозначение: 1 – основные и средние метавулканы (метаандезит-метабазальт); 2 – кислые молодые метавулканы (метариолит-метадацит); 3 – Вулканокластические породы (туфы-брекчии); 4 – Нубийский песчаник; 5 – кварцевый диорит; 6 – гранит-порфировые дайки; 7 – минерализованные кварц-карбонатные жилы; 8 – кварцевые жилы; 9 – зоны метасоматического изменения; 10 – разломы (сдвиги).

Процесс рудообразования был весьма сложным. Рудные текстуры показывает, что руды выявлены как гидротермально-осадочных и гидротермально-метасоматических процессов. Он включал два этапа –

гидротермальный и гипергенный. Гидротермальный этап разделен на три стадии: прерудную, рудную, пострудную стадию (Рис. 6):

Минералы	Гидротермальный этап			Гипергенный этап
	Предрудная стадия	Рудная стадия	Пострудная стадия	
Кварц	[Solid]			
Полевой шпат	[Solid]			
Пирит	[Dotted]	[Solid]	[Dotted]	
Золото	[Dotted]	[Dotted]		[Solid]
Серебро		[Solid]		
Галенит	[Dotted]	[Solid]		
Сфалерит		[Solid]		
Арсенопирит		[Dotted]		
Блѣклая руда		[Dotted]		
Хлорит		[Dotted]	[Dotted]	
Серицит		[Dotted]	[Dotted]	
Халькопирит		[Solid]		
Карбонаты			[Solid]	[Solid]
Тальк			[Dotted]	[Dotted]
Барит			[Solid]	
Ковеллин				[Dotted]
Гетит				[Solid]
Текстуры	Пятнистая Вкрапленная	Массивная Полосчатая	Пятнистая Прожилкообразная Полосчатая	Пятнистая Полосчатая Порошковатая
Структуры	Идиоморфозернистая	Аллотриморфозернистая Эмульсионная (сфалерит) Смятия (галенит)	Идиоморфозернистая Раздробленная (пирит) Скелетная Разедания	Фрамбоидальная Концентрически- зональная Сферилитовая Разедания
Минералы:	Главные [Solid]	Второстепенные [Solid]	Редкие [Dotted]	

Рис. 6. Схема последовательности минералообразования гидротермального и гипергенного этапов руд Хамама.

А) Предрудная стадия (кварц-пиритовая), представлена вкраплением рудных минералов сочетаются с вмещающими породообразующими минералами. Для этой стадии характерна минеральная ассоциация кварц-пиритовая с самородным золотом. Минеральная ассоциация этой стадии представлен полевым шпатом, аморфным кремнеземом, кварцем, мелкозернистым пиритом (Py-0) (Рис. 7 г), редким галенитом, и сфалеритом. Минеральная ассоциация этой стадии сохраняется в основном в прожилковой зоне в туфах и метавулканитах. Наиболее распространенными текстурами являются пятнистая и вкрапленная. Структура породы идиоморфнозернистая. Кварц-пиритовой ассоциацией определяется свободная видимая форма золота месторождения.

Б) Рудная стадия (галенит-сфалеритовая), включает в себя интенсивное осаждение рудных минералов с сопутствующими минералами редких металлов и редких земель, включающих в порядке убывания: пирит (Py-I), сфалерит, галенит и халькопирит (Csp-I) (Рис. 7 е), вторичный - пирротин, реже - арсенопирит, энаргит, гринокит, киноварь, акантит; нерудные минералы - хлорит, серицит, каолинит. Минеральное скопление этой стадии наблюдается в основном в массивной полиметаллической руде из глубоких буровых кернов Западной

Хамамы. Наиболее высокие концентрации золота связаны с галенит-сфалеритовой ассоциацией в невидимой форме, пространственное положение которой отчетливо контролируется разрывами, ограничивающими группу тектонических блоков метавулканитов и их туфов. Наиболее распространенными текстурами являются массивная и полосчатая. Структура породы аллотриморфнозернистая, эмульсионная (пирит в сфалерите) и смятия в галените.

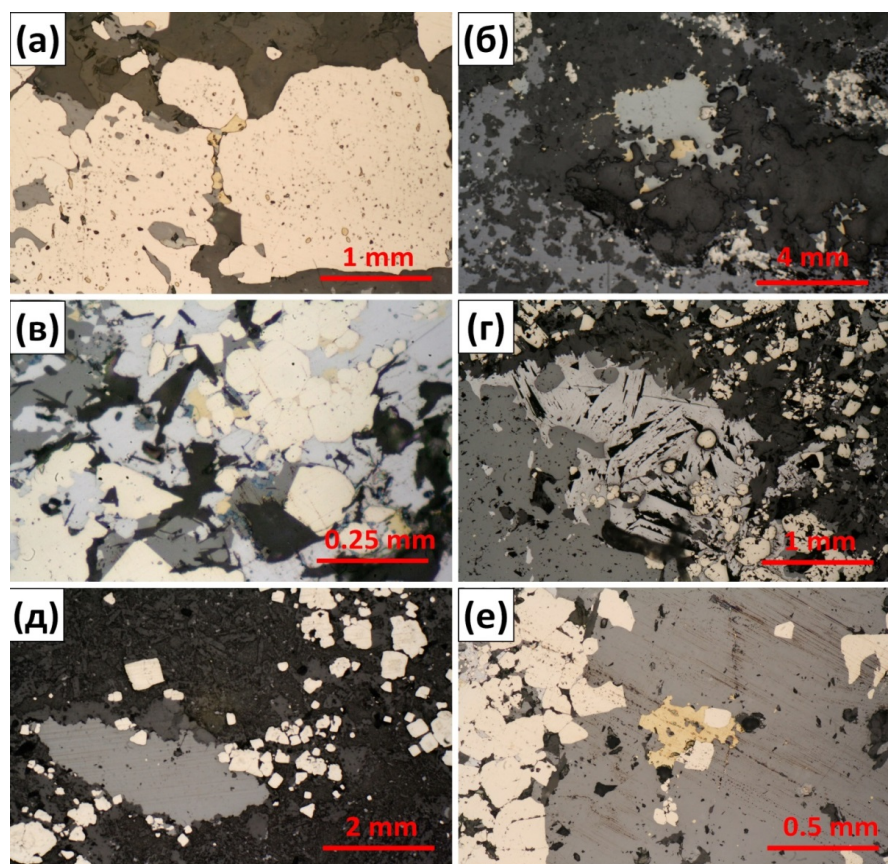


Рис. 7. Микрофотографии руды в отраженном свете показывающие текстурные отношения рудных минералов: а) заполнение халькопиритом (Сср-I) межзернового пространства пирита (Py-I) и включениями сфалерита; б) тетраэдрит замещен халькопиритом (Сср-I) с образованием метасоматического края; в) включение пирита (Py-0) и халькопирита (Сср-0) (частично замещенного ковеллином) в тетраэдрите и сфалерите; г) деформация галенита (Смятия) с треугольными ямами на внешней границе сфалерита с включением пирита (Py-0); д) рассеянный пирит (Py-II) вокруг сфалерита (Sph-II) и в кварц-карбонатной матрице; е) включение пирита (Py-0) и халькопирита (Сср-0) в сфалерите.

В) Пост рудная стадия (карбонат-баритовая), выражается в образовании большей части карбонатной массы, барита и переработке рудных минералов с образованием некоторых структур как фрамбоидальный пирит и вторичных сульфидных минералов, особенно меди, таких как ковеллин, борнит, халькопирит (Сср-II) и тетраэдрит (Рис 7 в). Эта стадия связана с березитизацией пород, и образованием кварц-серицитовых метасоматитов. Она также характеризуется ее выражена вмещающих пород. Она также характеризуется слабой хлоритизацией вмещающих пород и закончился интенсивной инъекцией карбонатов. Наиболее распространенными текстурами являются пятнистая, прожилкообразная и

полосчатая. Структура породы идиоморфнозернистая (Py-III), раздробленная в пирите, скелитная, и разедания.

Г) Гипергенный этап включает в себя образование вторичных минералов оксидов и карбонатов, таких как гематит, гетит, лимонит, акантит, цинкит, литаргит (глёт), малахит, сидерит, смитсонит, отавит, англезит, редкое самородное золото и т. Д. Наиболее распространенными текстурами являются пятнистая, полосчатая и порошковатая. Структура породы фрамбоидальная, концентрически- зональная, сфериолитовая, и разедания.

Золото в основном объединено в пирите, и в его окисленных продуктах в зоне окисления. Геохимические карты элементов в окисленном пирите показывают, что большая часть золота находится в виде наноразмерных включений самородного золота или с серебром (Рис. 8 а, в, г, е).

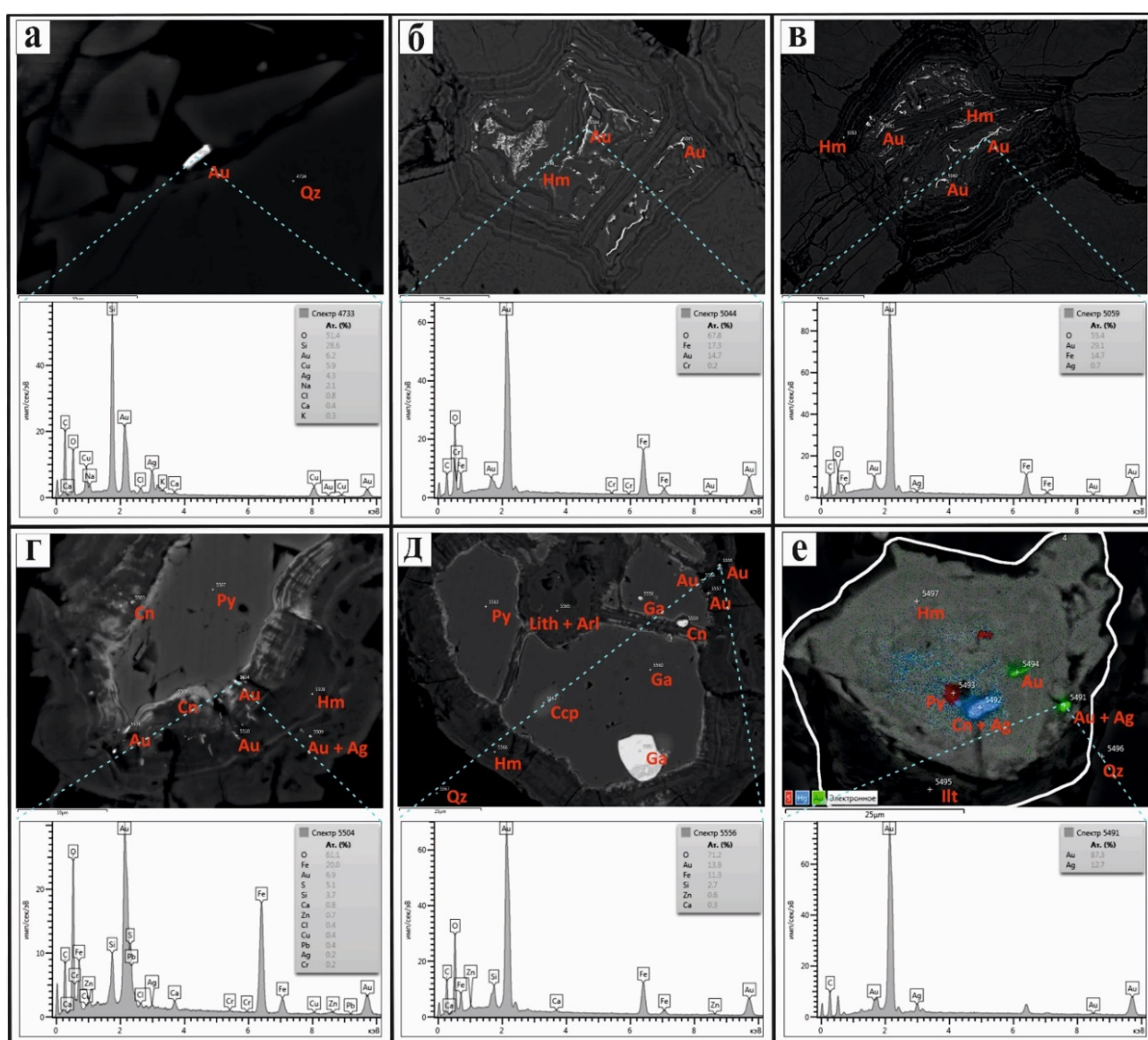


Рис. 8. Сканирующие электронные микроскопические изображения и EDX анализа для золота в зоне окисления: а) золотые чешуйки между зернами кварца, (б, в) тонкие нити золота в трещинах и слоях окисления, (г, д) мелкие зерна золота вдоль границы между пиритовым реликтом и слоями окисления, е) геохимическая карта распределения элементов Au, Hg и S в окисленном пирите.

Часть золота в образцах неокисленной руды встречается в виде дискретных чешуек самородного золота (иногда с низким содержанием Ag). В окисленной руде золото осаждало в виде тонких филаментов или микрозерен вдоль трещин окисленного пирита или на периферии пиритовых реликтов в ядре (Рис. 8). Около 60% анализируемых золотых зерен по EDX содержат различные количества серебра, варьируется от 0 до 69 атомных %, при среднем содержании около 9 атомных %. Самородное золото крайне редко встречается, размером от 5 до 30 μm (до 150 μm). Очевидно, что появление минералов золота в железной шляпе было связано, главным образом, с выделением изоморфных наночастиц Au из сульфидов, а также с огрублением крошечных («невидимых») зерен самородного золота во время эпигенетических гидротермальных изменений.

3. В вертикальном строении месторождения Хамама выделяются четыре зоны (сверху-вниз) отличающиеся по минералогическим и геохимическим характеристикам: а) зона окисления (железная шляпа или госсан); б) зона выщелачивания; в) зона вторичного обогащения и г) зона первичного оруденения.

Месторождение Хамама представлено мощной (до 110 м, Рис. 5) зоной минерализованного кварц-карбонатного тела С-В и 3-В простирания. Кварц-карбонатное тело заполняет зону разлома между базальтами и туфами толщи метавулканитов (Рис. 9). Эти линзы образуют протяженную до 3 км зону, которая прослеживается на восток и запад еще на 6 км и на глубину более 250 м. При этом рудное тело круто погружается со средним углом падения около 55°. Ширина зоны оруденения варьирует в широких пределах от 10 до 110 м. Ширина залежи увеличивается вверх, достигая максимальной ширины на поверхности в западной зоне месторождения Хамама. Средняя ширина зоны окисления (железной шляпы) на поверхности 44 м. Вслед за В.И. Смирновым (Смирнов, 1955), нами выделены 4 основные зоны изменений на месторождении Хамама (сверху-вниз): а) зона окисления (железная шляпа); б) зона выщелачивания; в) зона вторичного обогащения; г) зона первичного оруденения (Рис. 9). Минералогические и геохимические характеристики рудных интервалов приводятся ниже. Определяющие границы между зонами не могут быть точно определены.

1) Зона окисления (от 0 до 35 м). Согласно предыдущим сообщениям, зона окисления погружается под поверхность на среднюю глубину около 35 м (Aton Resources, 2016). В разломанных зонах может достигать 50 м. Руды на поверхности месторождения характеризуются рыхлой текстурой, обусловленной процессами гипергенного выщелачивания, иногда сохраняются фрагменты «губок» пиритового и сфалерит-пиритового состава. В зоне окисления пирит переходит в гидроксиды железа в виде гематита, гетита и лимонита, с сохранением контура первоначальной кубической формы, которые можно назвать псевдоморфозами пирита (Рис. 10 а). Сфалерит превращается в оксиды (цинкит, ZnO), карбонаты (смитсонит, ZnCO_3) и сложные соли цинка, которые трудно идентифицировать микроскопически. Другие оксидные эквиваленты первичной руды включают в себя: литаргит или «глёт» (PbO), куприт (Cu_2O), арсенолит (As_2O_3) и др.

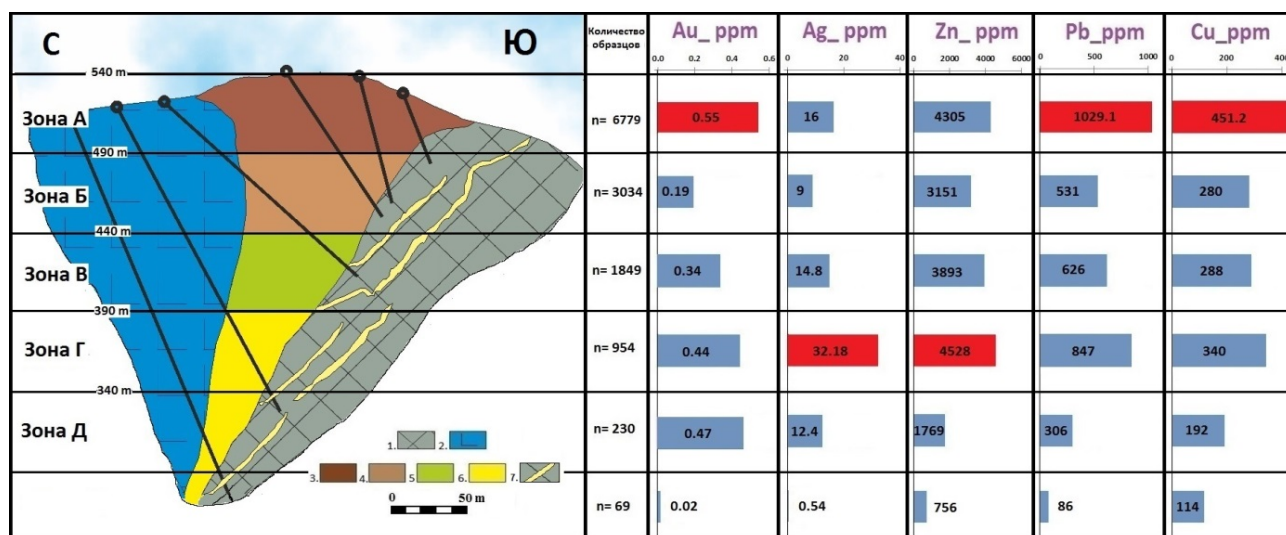


Рис. 9. Схематическое поперечное сечение участка Западной Хамамы, показывающее вертикальную зональность по модели (Смирнов, 1955) и концентрация элементов в каждой зоне. условные обозначения: 1. Вулканокластические породы; 2. Метавулканиды; 3. Железная шляпа (Госсан); 4. Зона выщелачивания; 5. Зона вторичного обогащения; 6. Первичная руда; 7. Зоны изменения.

Зона окисления содержит лучшие средние содержания золота (0,55 г/т), свинца (1029 г/т) и меди (451 г/т) (Табл. 3-II). Средняя концентрация золота в зоне окисления выше, чем среднее по рудной залежи в 1,3 раза, что подтверждает его гипергенное обогащение. Кроме того, верхние 10 метров содержат самые высокие концентрации металлов Au (0,61 г/т) и с нормальными значениями Cu (524 г/т), Pb (1227 г/т) и Zn (4929 г/т), но низким значением Ag (16 г/т). В целом зона окисления обогащена Au, Cu, Fe, Sb, As и Hg. С другой стороны, она обеднена сульфидами, Ag, Te, V, Co, Cr и Ni, из-за их высокой растворимости при окислении (Abd El-Rahman et al., 2015).

2) Зона выщелачивания (от 35 до 85 м). Минеральная ассоциация этой зоны в основном богата пиритами, с низким содержанием сфалерита и медных минералов. Пирит в этой зоне наблюдается в двух формах с переходной формой между ними. Первый пирит представлен идиоморфными, кубической формой, с интенсивным проявлением катализирования. Вторая представлена фрамбоидальным пиритом (Рис.10 в). Переходная форма представлена кристаллами пирита с вытравленным краем бактериями (Рис. 10 г). Фрамбоиды ограничены этой зоной и верхней зоной окисления, но в первичной рудной зоне они отсутствуют. В зоне окисления они интенсивно окисляются и преобразуются в коломорфную массу (Рис. 10б). Эти фрамбоиды образуются за счет переработки первичных крупнозернистых пиритов бактериями в восстановительной среде, при низких температурах. Rickard (1997) показал, что пирит преобразуется в строго без кислородных системах. Halbach et al. (1993) определили температуру образования фрамбоидального пирита в гидротермальном поле месторождений Японии в диапазоне (150 – 210° C). Сканирующая электронная микроскопия показывает сохранившиеся гнезда этих бактерий, построенных на первичных пиритах (Рис. 11 а). Во фрамбоидах отметили тонкие включения тетраэдрита, Ag и Te (Рис. 11 б). Агломераты фрамбоидов затем спаивались вместе

халькопиритом. Барит является распространенным второстепенным минералом, особенно в этой зоне. Карбонаты в основном доломитовые и мелкозернистые.

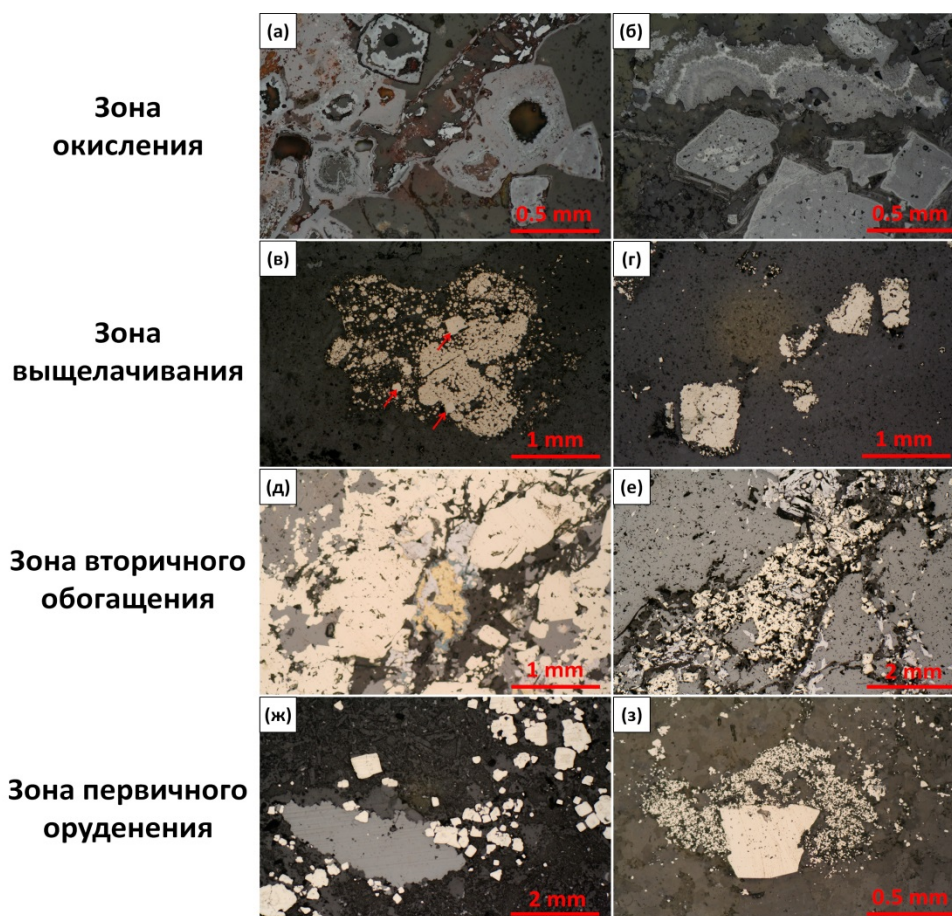


Рис. 10. Микрофотографии рудных минералов из разных зон: а) кубики окисленного пирита, показывающие зональное окисление, б) окисленный пирит и коллоформная текстура оксидов железа, в) Агломераты фрамбоидов пирита и идиоморфные кубики, показано стрелками, г) зарезервированные бактериальные гнезда фрамбоидальных пиритов, построенных на первичных кубах пирита (Py-I), д) полиметаллическая руда с преобладанием пирита и сфалерита и небольшого межзеренного галена и халькопирита, окруженная реакционным ободком из ковеллита, е) включение пирита и галенита в сфалерите, ж) сфалерит и рассеянный пирит в кварц-карбонатной матрице, з) скелетные зерна пирита, корродировали ободки первичного куба пирита.

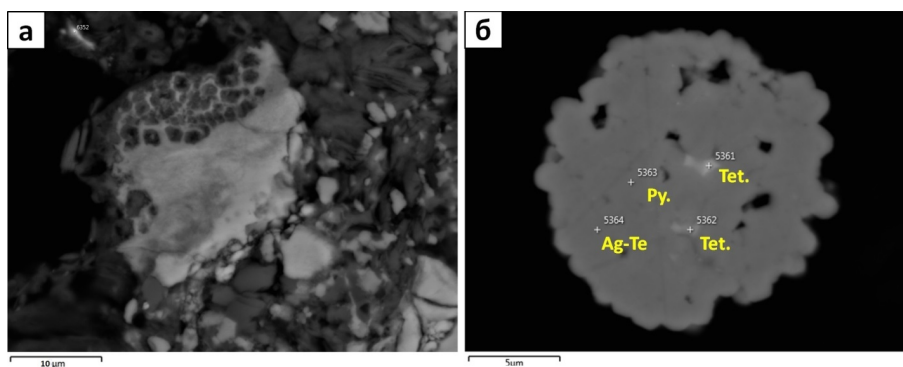


Рис. 11. Сканирующее электронное микроскопическое изображение, (а) показывающая сохраненные гнезда фрамбоидальных бактерий, построенных на первичных кубиках пиритов, (б) фрамбоид пирита (Py.) с тонкими включениями тетраэдрита (Tet.), самородного теллура (Te), и серебра (Ag).

Карбонаты и окисленные сульфидные минералы подвергались диагенетическим преобразованиям, выразившимся в появлении коллофорной, кокардовой и сферолитовой текстур. Некоторые карбонаты реагировали с Zn в коллоидном растворе при образовании этих текстур. Глинистые минералы представляют собой основной компонент зоны окисления, образовавшейся в результате выветривания силикатных минералов вулканических пород. Общая минеральная ассоциация зоны окисления может быть описана, как гематит-лимонит-гетит-глинисто-карбонат-кварцевая, несущая Au-Ag с обильным баритом в качестве второстепенного минерала.

Зона выщелачивания показывает резкое истощение содержания полезных компонентов, где концентрация Au снижается с 0,55 до 0,19 г/т, а Ag уменьшается с 16 до 9 г/т. Кроме того, зона выщелачивания имеет меньшую концентрацию свинца, примерно в половину от зоны окисления. Средняя концентрация меди снижается с 451 до 280 г/т. Содержание Sb также резко снижается с 1274 г/т (образец АНА-001 на вертикальной глубине 22 м) до менее чем 1 г/т (образец АНА-066В, на глубине 61 м). Zn, As, Hg показывают небольшое снижение, в то время как Cd показывает небольшое увеличение.

3) Зона вторичного обогащения (от 85 до 135 м). Эта зона характеризуется обилием текстур обрастания и замещения минералов первичной сульфидной минерализации, вторичными. Распространенными минералами меди, являются ковеллин, халькозин и борнит. Халькопирит распространен более широко, чем в зонах окисления и выщелачивания. Немного сфалерита и галенита можно найти в виде включений в карбонатную матрицу 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 пересекают силикатные минералы, пиритовые жилы и более раннюю карбонатную матрицу. Во многих шлифах наблюдалось растворение силикатов (кварца и лапили туфов) более поздним раствором карбонатов.

Отмечено, что в этой зоне содержание всех металлов очень близко к общему среднему значению месторождения. Они характеризуются высокими средними концентрациями Zn (3893 г/т), Pb (626 г/т), As (0,05%), Cd (400 г/т), Hg (150 г/т), Ag (15 г/т) и Au (0,34 г/т). Кроме того, она содержит массивные сульфидные конкреции на глубоких образцах керна, подчиняющиеся геохимическому индексу ($Zn + Cu + Pb > 5\%$), которые представляют только 1,7% выборки, но содержат наивысшее содержание золота и серебра (около 2 г/т и 95 г/т соответственно). Они также обнаруживаются в верхней части первичной рудной зоны, особенно в Западной Хамаме в интервале (340 - 440 м) (Рис. 9).

4) Зона первичного оруденения (глубже 135 м). Первичная руда месторождения Хамама показывает минералогические характеристики раздробленных и карбонизированных колчеданных месторождений. Образцы первичной руды обогащены пиритом и сфалеритом больше, чем медными минералами. Они состоят в среднем из 30% кварца и аморфного кремнезема, 25% доломита, 20%

пирита, 10% кальцита, 10% других сульфидов, 5% полевого шпата. В этой зоне пирит представлен двумя генерациями: а) рано сформировавшиеся крупнозернистые идиоморфные кристаллы кубического габитуса в кварц-карбонатной матрице, и б) мелкозернистые скелетные выделения, распределенные в серицитизированной полевошпатовой массе (Рис. 10 з). Сфалерит встречается в виде больших масс с нечеткими кристаллическими очертаниями (Рис. 10 ж). Устанавливается более поздняя карбонатизация по отношению к кварцу. Реликты кварца с корродированными краями часто встречаются в тонкой карбонатной матрице.

Эта зона содержит самое высокое среднее содержание Ag (20,1 г/т), варьируя от 0,1 до 2 910 г/т. Золото показывает нормальное значение 0,38 г/т, варьируя от 0 до 12,9 г/т. Среднее значение Zn составляет (3 932 г/т), в диапазоне от 34 г/т до 12,1 %, Cu (297 г/т) и Pb (660 г/т). Мощность этой зоны и содержание металлов уменьшаются вниз.

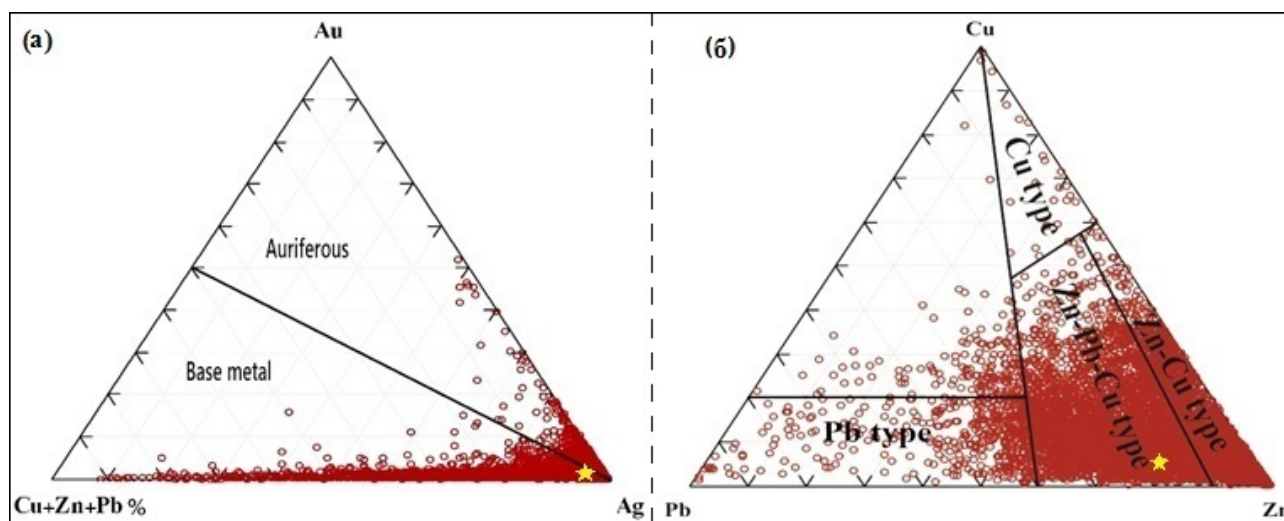


Рис. 12. а) Тройная диаграмма относительного содержания Au (ppm), Ag (ppm) и основного металла (Cu+Zn+Pb%) для месторождения Хамама (Poulsen and Hannington, 1995); б) Тройная диаграмма относительного содержания Cu, Zn и Pb в месторождении Хамама (Large, 1992); средние значения на обеих диаграммах представлены звездочкой.

Различные диаграммы для классификации VMS были использованы для определения типа руд месторождения Хамама (Рис. 12). По содержанию золота, серебра и цветных металлов (Cu + Zn + Pb), то большинство образцов руды (> 70%) относятся к месторождениям цветных металлов (Рис. 12 а), а не к месторождениям золота (Hannington et al., 1999; Poulsen and Hannington, 1995; Poulsen, 2000). Однако некоторые образцы руды попадают в область золотосных месторождений из-за относительно высокого содержания серебра, а не содержания золота. Средняя точка попадает в области месторождений цветных металлов (полиметаллическая руда). На трехкомпонентной диаграмме (Large, 1992) большинство (> 70%) образцов относятся к ассоциации Zn–Pb–Cu, около 20% заполняют поле типа Zn–Cu, остальная часть заполняет поле типа Pb с небольшим количеством образцов попадают в тип Cu (Рис. 12 б).

4. Статистическая обработка результатов опробования поверхности, позволила выявить пространственное распределение аномальных содержаний элементов: а) золота и серебра на западном участке, б) свинца, меди и цинка на восточном участке. Обработка данных опробования керна позволила создать 3D модель месторождения и выявить что, зона окисления является главным рудным интервалом.

Статистические параметры взаимосвязи между 5 элементами (Au, Ag, Zn, Cu и Pb) основаны на 12 915 проб керна и траншей (предоставлено Aton Resources). Другие исследования оставшихся элементов основаны на 28 проб рудных образцов, из различных рудных участков и глубин в районе Хамама.

Среднее содержание основных оксидов руды Хамама в порядке убывания составляет: SiO₂ (36,8 мас.%), Fe₂O₃ общ. (19,8 мас.%), CaO (9,6 мас.%), MgO (8,7 мас.%) и Al₂O₃ (5,54 мас.%). Эти значения указывают на то, что силикаты, карбонаты и сульфиды и оксиды железа являются основными составляющими руды. Среднее содержание микроэлементов приведено в (Табл. 1).

Таблица 1. Общие статистические параметры базы данных месторождения Хамама

Элемент	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Hg	Sb	Cd	Te
Минимальное	0,00	0,10	0,5	1	4	5,3	0,02	0,37	0,08	0,02
Максимально	38,8	2710	15140	82600	376000	798	160,1	1274	353,4	25,1
Медиана	0,05	3,20	81	104	552	71	1,6	9,4	1,74	1,2
Среднее значение	0,42	15,23	373	819	3927,7	155,6	17,5	89,4	44,6	4,3
Стандартное отклонение	1,05	50,4	914	2917,6	14349,2	216	38,1	247,1	101,8	6,6

Примечание: Средние значения в г/т, Количество образцов (n = 12915 для Au, Ag, Cu, Zn; n = 11901 для Pb; n = 28 для As, Hg, Sb, Cd, Te)

Среднее содержание золота месторождения Хамама - низкое (0,42) г/т, при этом менее 24,5% образцов равномерно распределяются выше этого значения, а 11,6% выборки превышают значения 1 г/т. Содержание серебра также низкое - в среднем 15,23 г/т, где около 23,2% выборки выше среднего значения. Содержание меди колеблется от 0,5 г/т до 1,51%. Среднее значение составляет 0,037%, и около 20,7% образцов имеют значение выше среднего. Цинк, как правило, самый богатый металл в образцах, после железа, в диапазоне от 4 г/т до 37,6 % и в среднем составляет около 0,4%. В целом содержание свинца низкое (в среднем 0,08%), максимум 8,2%, в более чем 87% образцов свинец ниже среднего значения 0,08%. Концентрации мышьяка составляют от 5 до 798 г/т. Среднее значение мышьяка составляет 155,6 г/т, а медиана 71 г/т. Сурьма присутствует всегда, а иногда и в высоких концентрациях до 1 274 г/т. Половина образцов имеет концентрацию ниже среднего значения (89 г/т), но другая половина имеет высокие значения около 500 г/т. Кадмий распределяется по многим фазам в виде включения, а иногда и в виде сульфидной фазы гринокита. Однако содержание Cd очень низкое в большинстве образцов (в среднем при 44 г/т), за исключением образцов полиметаллической руды, где его содержание достигает 353 г/т.

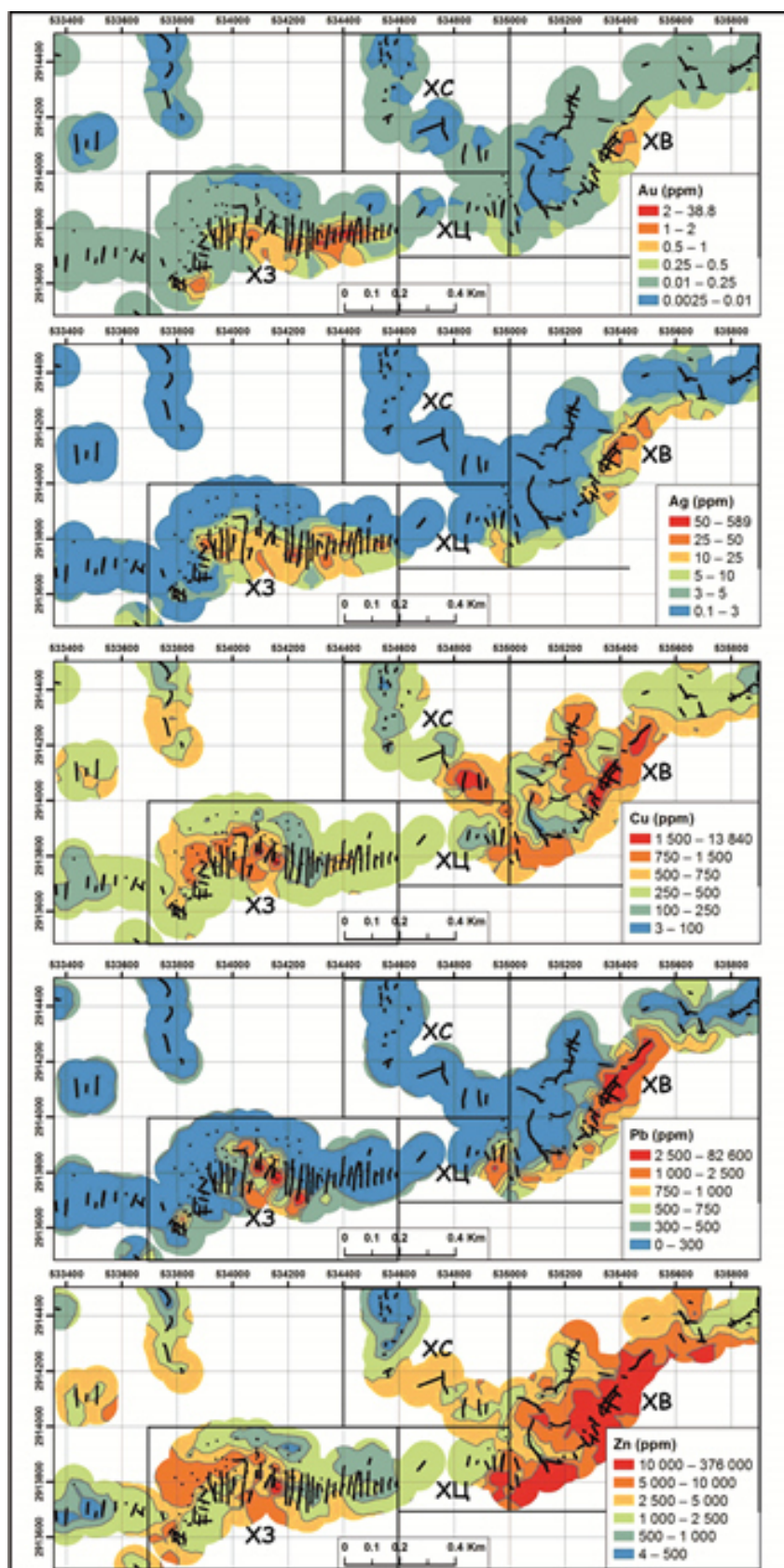


Рис. 13. Контурные карты поверхностного распределения элементов Au, Ag, Zn, Cu и Pb. Именование участков сокращены следующим образом: Хамама западная (X3); Хамама Центральная (XЦ); Хамама Восточная (XB); Хамама Северная (XC).

Данные геохимического опробования на площади приблизительно 2,5 км², получены из значений анализа проб траншей и среднего значения верхнего

интервала проб бурового керна (до 5 метров глубиной), статистическая обработка выполнена с использованием программы «ArcGis» (Рис. 13). В результате были выявлены две потенциальные аномальные зоны для Au, первая из которых расположена на западе месторождения - Западная Хамама (до 38,8 г/т). Вторая аномалия расположена в центральной части Восточной Хамамы (до 7,8 г/т). Также были идентифицированы две потенциальные зоны для Ag, которые совпадают с двумя аномалиями золота. Первая расположена на Западной Хамаме (до 2 710 г/т), в ее центральной части. Вторая аномалия на Восточной Хамаме с концентрацией до 253 г/т Ag.

Крупная аномалия меди протягивается через центральную и южную части Западной Хамамы со значениями до 1,43 % и простирается до восточной части Центральной Хамамы. Еще две небольшие аномалии расположены в Восточной Хамаме (до 1,51 %) и в Центральной Хамаме с более низкими концентрациями до 0,74 %.

Цинк имеет только одну крупную аномалию на Западной Хамаме с концентрациями до 37,6 %. В западном участке концентрации цинка не превышают 1000 г/т, за исключением нескольких точек в центральной части Западной Хамамы. Свинец сконцентрирован в двух аномалиях, первая из которых расположена вдоль центральной части Западной Хамамы с концентрацией свинца до 6,33 % и простирается до восточной части Центральной Хамамы. Вторая аномалия расположена в центральной части Восточной Хамамы с концентрациями до 3,22 %. В целом Восточная Хамама представляет собой главный источник для цинка, свинца и меди в этом районе (Табл. 2- I).

Таблица 2. Изменение среднего содержания элементов Au, Ag, Zn, Pb и Cu в г / т

Таблица 2-1. боковая распределения элементов в каждом участке месторождения.

Участк	Западная Хамама	Центральная Хамама	Восточная Хамама	Северная Хамама
Координаты	X= 533700 – 534600 Y= 2913500 - 2914000	X= 5347600 - 535000 Y= 2913700 – 2914000	X= 535000 - 535900 Y= 2913700 - 2914500	X= 534400 - 535000 Y= 2914000 - 2914500
Колич. образцов	n= 9109	n= 486	n= 2263	n= 618
Au	0,56	0,09	0,14	0,014
Ag	19,66	3	6,17	0,64
Zn	3034,5	2188,4	8571	1051
Pb	758,5	507	1110	90
Cu	337,8	197,4	548,3	408

Таблица 2-II. Вертикальная распределения элементов.

Интервал	Приповерхностная руда	Зона окисления	Зона выщелачивания	Зона вторичного обогащения	Первичная руда
Высота над уровнем моря	540-530 m	540-490 m	490-440 м	340-390 м	390-283 м
Количество образцов	n= 4579	n= 6788	n= 3034	n= 1849	n= 3033
Au	0,61	0,55	0,19	0,34	0,38
Ag	14,14	16	9	14,8	20,1
Zn	4929	4306	3151	3893	3932
Pb	1227	1029	531	626	660
Cu	524,24	451	280	288	297

Результаты трехмерной интерполяции базы данных по поперечным сечениям по распределению металлов Au, Ag, Pb, Cu и Zn (Рис. 14) показывают, что минерализация не сгруппирована в сплошное рудное тело. Оно представляется разрушенным разнонаправленными разломами. Эти разломы образовались после полного формирования рудного тела и сильно изменили его конфигурацию. Ряды поперечных сечений С-Ю (Рис. 14 б) на западном участке иллюстрируют круто погружающийся характер руд (со средним углом падения 55°) к югу, где вмещающими являются вулканокластические породы.

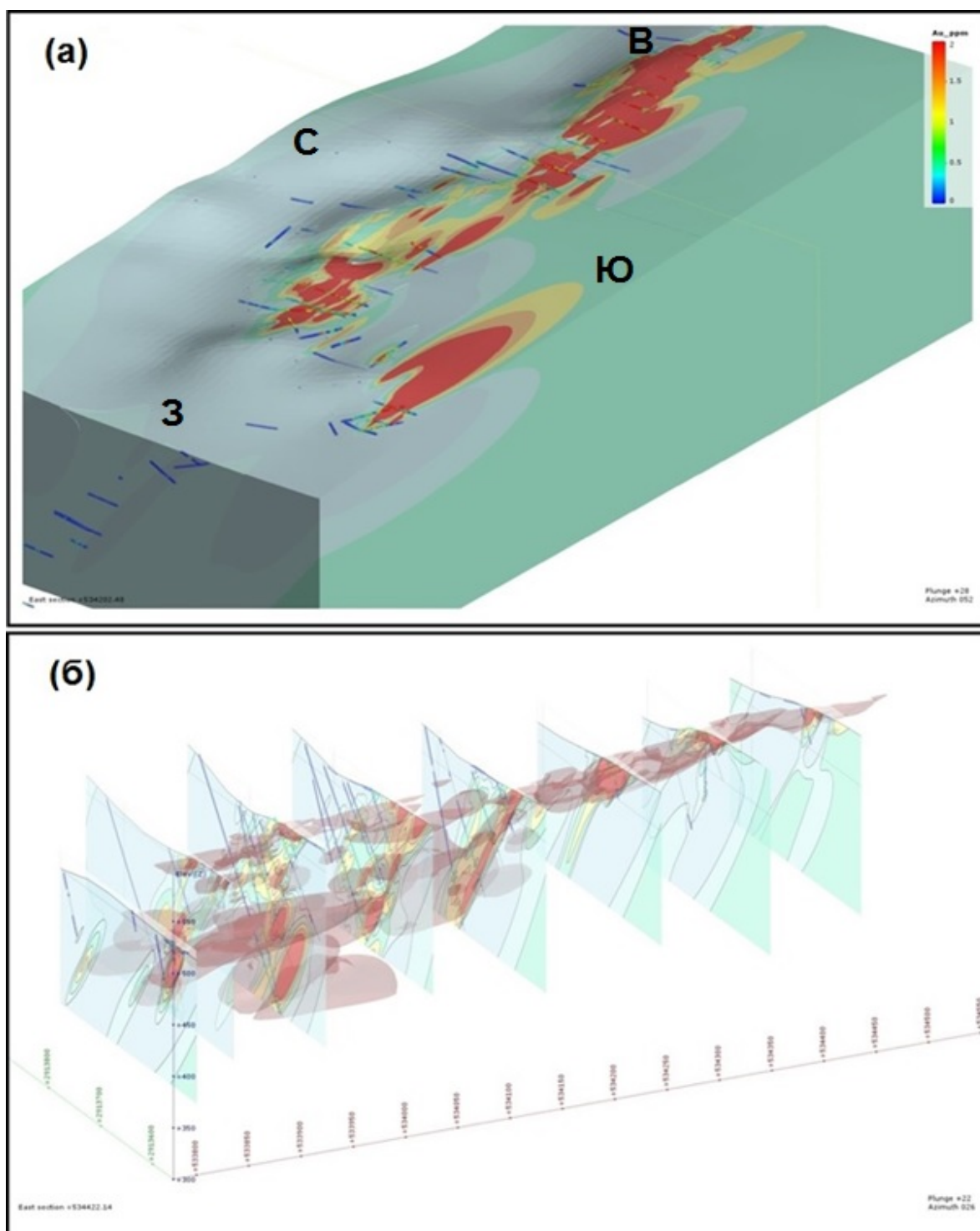


Рис. 14. а- 3D-модель распределения золота на Западной Хамамы, б- Набор сечений в 3D-модели с интерполяцией зон высокого сорта (> 1 г/т).

По нашим исследованиям, пористость вулканокластических пород выше, чем базальтовых пород. Вертикальные нарушения и высокая пористость туфов, облегчают проникновение гидротермального раствора и, соответственно, благоприятствуют богатому оруденению.

Нами определены координаты четырех участков рудного тела (Западная, Восточная, Северная, и Центральная Хамама) и рассчитаны средние содержания элементов по данным опробования кернов и траншей в каждом участке (см. Рис. 5, Рис. 13 и Табл. 2-Г). Получаемые результаты согласуются с поверхностными аномалиями. Западная Хамама является основным источником для золота (0,56 г/т) и серебра (19,66 г/т), в то время как Восточная Хамама является основным источником для цинка (8 571 г/т), свинца (1 110 г/т), и меди (548 г/т). Минерализация в Северной Хамаме встречается в виде зон изменения и кварцевых жил с железным блеском (спекуляритом). В этой связи Северная Хамама самая бедная.

Центральная Хамама была нарушена внедрением пострудной гранитной дайкой, что привело к отделению западного и восточного участков и соответственно к снижению среднего содержания всех металлов.

Заключение

1. В пределах ЦВП Египта удалось выявить крупное палеовулканическое сооружение с центром в районе массива Митик. В пределах ЦВП проявления два цикла вулканизма образуя палеовулканическую структуру, где верхнепротерозойские и нижнепалеозойские магматические породы залегают непосредственно на древнем метаморфическом фундаменте протерозойского возраста, представленном разнообразными гнейсами и метаморфическими сланцами.
2. Месторождение Хамама - крупномасштабный пример распространенных неисследованных месторождений в ЦВП Египта. Оно расположено на контакте базальтовых лав с их вулканокластическими разностями.
3. Распределение элементов и минералогические характеристики подтверждают вертикальную зональность месторождения. Уверенно выделяются четыре зоны: а) зона окисления; б) зона выщелачивания; в) зона вторичного обогащения; г) зона первичной руды (дезинтеграции).
4. Первичные руды сформировались в гидротермальный этап, состоящий из трёх последовательных стадий – пред рудная, рудная и пост рудная, каждой из которых отвечают свои парагенетические ассоциации минералов.
5. Зона окисления содержит отличное самородное золото и серебро, особенно верхние 10 метров. Накопление золота происходило за счет процессов гипергенного изменения (окисления) пирита, содержавшего золото в виде изоморфные примеси с его дальнейшим укрупнением при эпигенетических процессах.

ОСНОВНЫЕ ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Mahmoud, A. S.**, Dyakonov, V. V., Dawoud, M. I., and Kotelnikov, A. E., Mineral composition, textures and gold habit of the Hamama mineralizations (central Eastern Desert of Egypt), RUDN Journal of Engineering researches, 2018, 19 (4), 391-401.
2. **Mahmoud A. S.**, Dyakonov V. V., Paleovolcanic model for the evolution of the basement complex of the central part of Egyptian Eastern Desert, News of the Ural State Mining University, 2019, 3 (55), 20-26.
3. **Mahmoud A. S.**, Dyakonov V. V. and Kotelnikov A. E., Genesis and evolution of the Hamama volcanic massive sulphide deposits, Egypt, IOP conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 675, conference 1, 2019, 8 p.
4. **Махмуд А. Ш.**, Дьяконов В. В., Котельников А. Е., Давуд М., Эль-Докуны Х. А., Вертикальная зональность и поля геохимических аномалий золоторудного месторождения Хамама (центральная часть Восточной Пустыни Египта), Геология рудных месторождений, 2019 (В печати).
5. **Mahmoud, A. S.**, Dyakonov, V. V., Kotelnikov, A. E., Kotelnikova E. M., Reconstruction of central Eastern Desert (Egypt) tectonic framework by remote sensing, 2nd IAA/AAS SciTech Forum, June 25-27, 2019, Moscow, Russia.
6. Dyakonov, V. V., Kotelnikov, A. E., **Mahmoud, A. S.**, Kotelnikova E. M., Reconstruction of volcanic structures: examples from Kazakhstan and Egypt, IOP conference Series: Earth and Environmental Sciences, 2019 (On print)
7. Рахимова Е.В., Наравас А.К., Дернова Е.О., **Махмуд А.Ш.** Особенности кварца эоловых песков Северной Африки и ОАЭ.//Геология и Разведка, 2019. (В печати)

Тезисы докладов в различных конференций

1. **Махмуд А.Ш.**, Дьяконов В. В., Геохимические и минералогические характеристики рудных интервалов золоторудного месторождения Хамама (Египет). //Тезисы докладов. 14-ая Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Том II. М., 2019. С. 130-132.
2. **Махмуд А.Ш.**, Дьяконов В.В., Давуд М. Рекомендации по использованию циркона в качестве геохронологического инструмента, 14-ая Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Том II. М., 2019. С. 321-323.
3. Рахимова Е.В., Наравас А.К., Дернова Е.О., **Махмуд А.Ш.** Особенности кварца эоловых песков Северной Африки и ОАЭ.//Тезисы докладов. 14-ая Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Том I. М., 2019. С. 156-159.
4. **Махмуд А.Ш.** Дьяконов В. В., Тектоно-магматическое строение центральной части Восточной Пустыни Египта, //Тезисы докладов. XII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Геология в развивающемся мире" Пермь., 2019. С. 128-131.

5. **Махмуд А.Ш.** Дьяконов В. В., Геологическое строение и особенности Формации Доханских вулканитов (Египет). //Тезисы докладов. XII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Геология в развивающемся мире". Пермь., 2019. С. 47-49.
6. **Махмуд А.Ш.** Золоторудные месторождения Египта (История и перспективы), XI Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире», Том I, Пермь 2018, С. 26-29.
7. **Махмуд А.Ш.,** Дьяконов В.В., Особенности золоторудной минерализации района Хамама, центральная часть Восточной Пустыни Египта. 13-ая Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Том 1. М., 2018. С. 331-332.