

МИНОБРНАУКИ РОССИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ» (МГРИ)

D.

На правах рукописи

ДЕ ЛА НУЭС КОЛОН ДЭЙСИ

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ВОПРОСЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ САН ФЕРНАНДО И ДРУГИХ КОЛЧЕДАННЫХ ОБЪЕКТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КУБЫ

Специальность: 25.00.11-Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор Игнатов П. А.

Москва, 2020

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КУБЫ	11
1.1. Общие сведения	11
1.1.1. Административное деление Кубы	11
1.1.2 Рельеф	11
1.1.3. Климат	12
1.1.4 Реки и озёра	13
1.1.5. Географическое положение	14
1.2. Краткие сведения о региональной геологии Кубы	15
1.3. Положение Кубы в пределах Карибской плиты	17
1.4. Геологическое строение Центральной Кубы	24
1.4.1. Краткая история изучения свиты Лос-Пасос и её рудоносности	26
1.4.2 Геологическая позиция колчеданных месторождений	
1.4.3 Вмещающие породы и околорудные изменения	32
1.4.4 Геохимия вмещающих пород	34
2. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ САН ФЕРНАНДО	40
2.1 Результаты электронно-зондового микрорентгеноспектрального анализа	47
2.2 Вертикальная и латеральная минеральная зональность месторождения Сан-Фе	рнандо
	51
2.2.1 Закономерности распределения оруденения по геохимическим данным	51
2.2.2 Метод интерполяции	52
2.2.3 Закономерности распределения оруденения по распространению рудных минерал	юв53
2.3 О перспективах рудных отвалов на месторождении Сан-Фернандо	68
2.3.1 Расчет оценки ресурсов золота	70
3. КОЛЧЕДАННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОИ КУБЫ	73
3.1 Характеристики колчеданных месторождений центральной Кубы	73
3.2 Выделение геологических структур в Центральной Кубе по магнитометрии и аэрогамма-спектрометрии	79
3.2.1 Ocuorube mermouniecrue haminening pationa	ر , ۵۵
3.2.2. Преобразования мазнитометрии	
3.2.2 Преобразования маснатометрии	
4 ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕСТОРОЖ ЛЕНИЙ ПЕНТРА ПЬНОЙ	KVELI
ч. т волими техкие лагактетих и истики местогождении центи Алвнои	
5. ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕНЕЗИСЕ Аu-Аg МИНЕРАЛИЗАЦИИ	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	100
ЛИТЕРАТУРА	

введение

Актуальность темы исследования:

Колчеданные месторождения представляют собой залежи сульфидов металлов, имеющие промышленное значение. Из них получают до 10—15% мировой добычи меди, цинка, свинца и значительные количества серебра, золота, кадмия, селена, олова, висмута, бария и других элементов. Они формировались в разные геологические эпохи [Дергачев, 2010]. В ряде районов известны золотоносные колчеданные месторождение и совмещение колчеданных и собственно золоторудных объектов.

В настоящее время для Кубы особый интерес представляет выявление промышленных месторождений золота. Предлагаемое исследование посвящено оценке золотоносности зоны сводов вулканических островов мелового и палеогенового возраста. В меловой дуге известны две группы накоплений благородных металлов: колчеданные месторождения Zn-Cu в Центральной Кубе и эпитермальные Au-Ag объекты в Восточной Кубе.

Цель и задачи исследований

Целью настоящего исследования является обнаружение особенностей размещения золота в колчеданном месторождении Сан-Фернандо и других месторождениях Центральной Кубы, а также выявление геологических, петрологических, минералогических и геохимических характеристик месторождения Сан-Фернандо и других для того, чтобы установить закономерности концентраций золота и серебра в колчеданных рудах.

Основные задачи исследования:

- Изучить минеральный состав, текстуры и структур руд, составить схему последовательности рудообразования различных типов сульфидных

руд месторождения Сан-Фернандо и диагностировать в них минералы золота;

- Выявить минералого-геохимическую зональность медно-цинкового колчеданного месторождения Сан-Фернандо;

- Выделить в пределах месторождения Сан-Фернандо. участки перспективные на скрытое золотое оруденение;

- Установить сходства и отличия колчеданных месторождений Центральной Кубы для установления региональной металлогенической зональности и оценки золотоносности месторождений;

- Дополнить представления о генезисе массивных и прожилкововкрапленных руд сульфидных месторождений Центральной Кубы;

- Сравнить колчеданные месторождения Центральной Кубы с аналогичными объектами в других золотоносных провинциях и странах для оценки перспектив золотого оруденения.

Фактический материал и личный вклад автора

В основу работы положены материалы геологоразведки, проведенной на месторождениях Сан-Фернандо, Индэпэндэнсиа, Антонио и Лос-Серрос, в которых автор принимал участие, осуществлял полевые и лабораторные работы.

Отбор проб проводился автором из рудных тел, околорудных метасоматитов и вмещающих пород, в основном из керна разведочных скважин и естественных обнажений, изученных во время полевых маршрутов, проводимых с целью определения геологических аспектов и связей с рудной минерализацией.

Количество образцов, использованных для исследований на месторождениях Сан-Фернандо, Индэпэндэнсия, Антонио и Лос-Серрос приведено в таблице 1.1

Таблица 1.1

Фактическая основа характеристик минерального состав руд колчеданных месторождений Центральной Кубы

№	Месторождение	Рудные минералы	Жильные минералы	Фактические основы
1	Сан-Фернандо	Пирит		65 скважин, 146 аншлифов, элементный состав 1075 проб
2	Антонио	Сфалерит Халькопирит Галенит (PbS) Тетраэдрит (Sb ₄ Cu ₁₂ S ₁₃) Пирротин (Fe _n S _{n+1}) Электрум (Au, Ag) Гессит (Ag ₂ Te)	Кварц, серицит и хлорит	Две скважины и три образца из обнажения (7 аншлифов) элементный состав 33 проб две скважины и 5 образцов из обнажения (9 аншлифов) элементный состав 7 проб
3	Индэпэндэнсиа			
4	Лос-Серрос			три скважины, 7 образцов с поверхности (10 аншлифов) элементный состав 7 проб

Анализы выполнены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на приборе NexION 300D. Электронно-зондовые микрорентгеноспектральные анализы (на 8 образцах было проведено 36 анализов), сделаны на приборе TESCAN 5130 SB с вольфрамовой нитью и системой высокого вакуума, способной обеспечивать полезное увеличение более чем в 150 000 раз с разрешением частиц порядка 3 нм с помощью детекторов вторичного и обратного рассеяния электронов. Подготовка проб и большая часть анализов выполнены в Центральной лаборатории Хосе и дель Коррала и в Научно-исследовательском центре горно-металлургической промышленности (CIPIMM) на Кубе.

По рудопроявлениям Бока-дель-Торо и Эль-Соль использованы материалы геологических отчетов из архивов Национального управления минеральных ресурсов Кубы.

Методика исследований

Исследованная коллекция основана на изучении керна скважин и штуфов из обнажений, предназначенных для минералогического, петрографического исследований, химического и электронно-зондового микрорентгеноспектрального анализов.

Минералогические и геохимические пробы привязаны по площади и глубине. В каждом аншлифе определено содержание халькопирита, сфалерита, пирита и пирротина. Учтено присутствие более 5% того или иного минерала. По процентному содержанию этих минералов и концентрациям Cu, Zn, Pb, Cd, Au и Ag составлена база данных. Она использована в геоинформационном проекте, созданном в программном комплексе Quantum GIS (QGIS 3.9).

Для построения карт изоконцентраций элементов при интерполяции использован метод обратно взвешенных расстояний их по точкам рядом с каждой обрабатываемой ячейкой, чем ближе точка находится к центру ячейки, тем большее влияние или информационного веса она имеет в процессе усреднения.

По редким элементам (Ta, Zr, Hf, Mo, Sn, Tl, Pb, U, Th, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Y, Nb, Li, Rb, Cs, Be, Sr, Ba, Sc, V, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) для классификации VMS была составлена база данных, которая проанализирована в GeoChemical Data toolkit (GCDkit 4.1).

Для изучения минералогии золота и серебра использован метод электронно-зондового микрорентгеноспектрального анализа (8 образцов).

Геохимические связи рудных компонентов установлены методом многомерного статистического корреляционного анализа в программном комплексе statistica.

Для анализа геологических структур Центральной Кубы в геоинформационной среде QGIS 3.9. к геологической и тектонической картам были дополнительно применены сведения имеющихся карт аэромагнитной и аэрогаммаспектрометрических съемок.

Кроме того, были использованы магнитные данные в формате GRID, в соответствующей базе данных BD MAG-IGP / 2011 с параметром AT., масштаб съемки 1:50 000. Результаты интерпретации и систематизации использованы у Mondelo и Sánchez [2011].

Научная новизна

В результате проведенных исследований были получены новые данные по геологическому строению района и условиям локализации цинковомедной колчеданной минерализации в свите Лос-Пасос.

1. Установлена минералогическая и геохимическая вертикальная зональность месторождений Сан-Фернандо и Антонио, выраженная в закономерной смене снизу вверх: серно-колчеданные руды сменяются цинково-медными и медно-колчеданными рудами в кровле залежей.

2. На основе детального картирования рудных минералов и геохимических характеристик на месторождении Сан-Фернандо выявлена латеральная зональность в распределении Сu, Zn, Au и Ag, на основе которой выделены две рудоносные зоны.

3. Обоснована последовательность образования рудных и нерудных минералов на месторождении Сан-Фернандо.

4. Выявлена минерально-геохимическая «широтная» зональность района Центральной Кубы, выраженная в том, что на западе района преобладают медно-колчеданные месторождения с сопутствующими золоторудными объектами (золотосодержащими рудами), а на востоке распространены медно-цинковые колчеданные месторождения с баритом и золото-серебряными объектами.

Практическая значимость

1. Проведенный металлогенический анализ позволяет прогнозировать проявление перспективных золоторудных площадей в районе, изученном диссертантом.

В частности, полученные результаты дают возможность предположить наличие новых золоторудных объектов в пределах изученной и сопредельных территорий.

2. На месторождении Сан-Фернандо обоснованно прогнозируется продолжение на глубину не только пластовых залежей, но и крутопадающего линейного штокверка с золоторудной минерализацией. В связи с изложенным необходима доразведка месторождения скважинами до глубин 300 – 350 м.

3. Приведены рекомендации по возможной золотоносности отвалов не переработанных руд на месторождении Сан-Фернандо.

В целом всё изложенное позволит пополнить металлогенический потенциал Центральной Кубы.

Защищаемые положения

1. Известные на месторождении Сан-Фернандо медные, цинковомедные и пиритовые типы руд имеют сходный минеральный состав, текстуры и структуры руд, но отличаются количественными параметрами

рудных минералов и элементным составом; в рудах установлены поздние выделения золота, электрума, алтаита и гессита.

2. На основе анализа распространения главных рудных минералов и месторождении геохимических данных на Сан-Фернандо установлена вертикальная и латеральная минералого-геохимическая зональность: в подошве рудных залежей распространены ранние пиритовые руды, сменяющиеся выше медными и перекрывающими их цинково-медными, слагающими две рудоносные зоны. Крутопадающая зона более поздней прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации прогнозируется в качестве золоторудной.

3. особенности Размещение геохимические колчеданных И Сан-Фернандо, месторождений Индэпэндэнсиа, Антонио, Лос-Серрос И рудопроявлений Бока-дель-Торо и Эль-Соль, локализованных в свите Лос-Пасос, подтверждают «широтную» зональность рудного района Центральной Кубы: на фланге его преобладают медно-колчеданные месторождения западном С сопутствующими золоторудными объектами, а на восточном - медно-цинковые колчеданные месторождения с баритом и золото-серебряными проявлениями.

История изучения исследованной проблемы

Месторождение Сан-Фернандо является одним из самых известных колчеданных месторождений в Центральной Кубе. Обнаруженное испанцами в начале девятнадцатого века, оно было одним из основных источников меди в бывшей колонии. По имеющимся данным это месторождение относится к хорошо изученным месторождениям типа Куроко (VMS) [Díaz de Villalvilla, 1997; Gallardo. 2002; Cazañas, 2017; Torres Zafra, 2017]. Тем не менее, комплексных исследований вещественного состава руд и геологического строения месторождения не проводилось. Среди вопросов, которые следует решить, продолжают оставаться изучение минеральных ассоциаций, геохимических данных и закономерностей пространственного распределения

руд на месторождении Сан-Фернандо, включая вертикальную зональность, решение вопросов региональной металлогении.

Апробация работы

Основные положения диссертации опубликованы в 7-х работах, включая 3 статьи и доложены на научных конференциях: в 2018 г. - на 13-ой Международной научно-практической конференции «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ)» (г. Москва, МГРИ), в 2019 г. - на XIV Международной научно-практической конференции: «Новые идеи в науках о Земле» (г. Москва, МГРИ), в 2020 г. IX Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле» (г. Москва, МГРИ) и в 2020 г. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. «Породо- минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований». (г. Москва).

Структура работы

Диссертация содержит: 109 страниц и состоит из введения, пяти глав и заключения, 6 таблиц, 53 рисунков и списка литературы из 65 наименований. Работа выполнена на кафедре геологии месторождений полезных «Российского государственного ископаемых геологоразведочного университета (МГРИ)» под научным руководством заведующего кафедрой месторождений полезных ископаемых, геологии доктора геологоминералогических наук, профессора Игнатова П. А. (МГРИ), которому автор выражает глубокую благодарность.

1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КУБЫ

1.1. Общие сведения

1.1.1. Административное деление Кубы

Территория Кубы состоит из 15 провинций: Пинар-дель-Рио, Артемиса, Маябеке, Город Гавана, Матансас, Сьенфуэгос, Вилья-Клара, Санкти-Спиритус, Сьего-де-Авила, Камагуэй, Лас-Тунас, Ольгин, Гранма, Сантьягоде-Куба и Гуантанамо, и одной специальной муниципии Исла-де-ла-Хувентуд (остров Хувентуд) (рис.1.1).

1.1.2 Рельеф

Рельеф Кубы преимущественно равнинный. Возвышенности и горы занимают около трети территории. Три главные горные системы — это Кордильера-де-Гуанигуанико на западе, Эскамбрай в центральной части и Сиерра-Маэстра на востоке. Самый высокий горный массив Сиерра-Маэстра протянулся вдоль юго-восточного побережья на 250 км. Его высшая точка — пик Туркино (1972 м). Расположенные на западе острова - живописные невысокие горы причудливо рассечены и слабо заселены.

На Кубе повсеместно развит карст, в связи с этим известно множество пещер, в том числе и крупных. Так, на западе пещера Санто-Томас имеет разветвленную сеть подземных галерей общей протяжённостью 25 км. Часто встречаются так называемые «моготес» — формы тропического карста, представляющие собой возвышенности с почти вертикальными склонами и плоскими вершинами. Наиболее заселены и освоены слегка всхолмленные равнины. Берега, как правило, низкие, иногда заболоченные, во многих случаях поросшие мангровыми зарослями. Часто встречаются песчаные пляжи, которые тянутся на многие километры, например, на полуострове Икакос, где расположен известный курорт Варадеро.

1.1.3. Климат

Тропический, пассатный. Среднегодовая температура составляет 25,5°С. Средняя температура самого холодного месяца (январь) равна 22,5 °С и самого жаркого (август) — 27,8 °С. Температура поверхностных вод у берегов зимой составляет 22—24 °С, летом — 28—30 °С. Среднегодовое количество осадков, выпадающих обычно в виде ливней — 1400 мм, однако нередко случаются и засушливые года.



Рис. 1.1. Схема административного деления Кубы: 1- Пинар-дель-Рио; 2- Артемиса; 3-Гавана; 4- Маябеке; 5- Матансас; 6- Сьенфуэгос; 7- Вилья-Клара; 8- Санкти-Спиритус; 9- Сьего-де-Авила; 10- Камагуэй; 11- Лас-Тунас; 12- Гранма; 13- Олгин; 14- Сантьяго-де-Куба; 15- Гуантанамо; 16- О. Хувентуд.

На Кубе четко выражены два климатических сезона: дождливый (майсентябрь) и сухой (октябрь-апрель). На сезон дождей приходится 3/4 всей годовой суммы осадков.

Особенностью климата Кубы является типичная высокая влажность на протяжении всего года. Сочетание большой влажности и высокой температуры оказывает в целом неблагоприятное влияние на жизнь людей. Однако на побережье ветер с моря умеряет жару, приносит свежесть, а по вечерам и прохладу. В любом месте ветры отличаются известным постоянством, поэтому часто можно видеть деревья, стволы которых имеют соответствующий наклон.

Куба подвержена действию тропических циклонов, которые зарождаются в летне-осенний период (июнь — середина ноября) к востоку от Малых Антильских островов и на западе Карибского моря, передвигаясь затем в сторону Флориды. Циклоны сопровождаются обильными ливнями и сильнейшими ветрами, способными причинить большой ущерб хозяйству и населению острова (см. Кубинский ураган (1910)). Реки на Кубе короткие, немноговодные. Леса, покрывающие около 10 % территории, сохранились лишь в горных и заболоченных районах. Животный мир суши относительно бедный. В то же время в окружающих Кубу водах имеются ценные промысловые рыбы, моллюски, лангусты, креветки, а также губки.

1.1.4 Реки и озёра

Реки на Кубе коротки и немноговодны. Из всех 600 рек и ручьёв 2/5 текут на север, остальные — на юг, в Карибское море. Среди многочисленных прибрежных болот наибольшую площадь имеет болото Сапата [Britannica Online Encyclopedia, 2012]. Общий объём возобновляемых водных ресурсов — 38,1 км³ [Кругосвет, 2010].

Крупнейшая река — Кауто расположена в восточной части острова Куба, имеет длину 370 км. В западной части протекает река Альмендарес. Питание рек преимущественно дождевое, 80 % стока приходится на дождливый осенний сезон. Кауто и её притоки, особенно Саладо, протекают по провинциям Ольгин и Лас-Тунас. Среди других рек восточного региона — Гуантанамо, Сагуа-де-Танамо, Тоа и Майяри. К западу лежат реки Севилья, Нахаса, Сан-Педро, Хатибонико-дель-Сур, Саса, Агабама, Аримао, Ондо и Куйагуатехе (текут на север), а также Сарамагуакан, Каонао, Сагуа-ла-Гранде и Ла-Пальма (текут на юг).

Озёра на Кубе имеют небольшие размеры и по большей части могут быть охарактеризованы как пресноводные и солёные лагуны. У северного берега острова Куба в центральной части расположено крупнейшее естественное пресноводное озеро страны Лагуна-де-Лече, воды которого становятся похожи на молоко, когда потоки из моря поднимают меловые отложения с её дна. Из водохранилищ крупнейшим является Саса. Крупные ресурсы подземных вод имеются в западной части острова Куба.

1.1.5. Географическое положение

Куба расположена на стыке Северной, Центральной и Южной Америки, в Карибском море. Остров Куба – это самый крупный остров в Вест-Индии, остров Хувентуд и примыкающие к нему около 1600 мелких островов и коралловых рифов, принадлежат к группе Больших Антильских островов. Для побережья Кубы характерны глубокие заливы и множество удобных бухт. Остров обрамлён рифами и другими коралловыми образованиями. Куба омывается Флоридским и Юкатанским проливами на севере и юго-западе соответственно, на востоке - Наветренным проливом, на юге - Карибским морем.

Территория Кубы в 110 860 км². Страна простирается с запада на восток на 1250 км. Её нередко сравнивают с ящерицей, голова которой обращена к Атлантике, а хвост находится у входа в Мексиканский залив. На омывается Куба водами Карибского юге моря, на северо-западе Мексиканским заливом, а на северо-востоке Атлантическим океаном. Расстояние от Кубы до США в самом узком месте Флоридского пролива — 180 км, до острова Гаити через Наветренный пролив — 77 км, до острова Ямайка через пролив Колон — 140 км, до Мексики через Юкатанский пролив — 210 км. (рис. 1.2).



Рис. 1.2 Физическая карта Кубы [https://yandex.ru/maps/]

1.2. Краткие сведения о региональной геологии Кубы

Куба расположена в пределах Карибского подвижного пояса, занимая пограничное положение между позднедокембрийской Багамской плитой на севере и современной глубоководной впадиной Бартлет с субокеаническим характером земной коры. В пределах Кубы выделяются мезозойская (большая часть Кубы) и кайнозойская (Сьерра-Маэстра) складчатые системы [Большая Российская энциклопедия, 16]. Мезозойская складчатая система разделяется на две области, представленные миогеосинклинальными и эвгеосинклинальными образованиями.

Миогеосинклинальная область занимает в основном северную часть острова и включает с севера на юг зоны: Гуанигуанико, Ремедьос, Камахуани — Пласетас. Зона Гуанигуанико сложена терригенным и терригеннокарбонатным комплексами ранней юры — позднего мела. Зона Ремедьос характеризуется эвапорит-карбонатным разрезом позднеюрских, меловых и кайнозойских отложений мощностью более 5000 м. Зона Камахуани отличается несколько сокращённым по мощности разрезом и появлением кремнисто-мергелистых отложений. В зоне Пласетас мощности сокращаются до 500-800 м и преобладают глубоководные карбонатно-кремнистые отложения [Большая Российская энциклопедия,16].

Эвгеосинклинальная область (зона Саса) на юге обрамляется выступами фундамента, представленного метатерригенными И метавулканогенно-карбонатно-терригенными образованиями доюрского возраста, перекрытыми известняками и доломитами юры. Зона Саса слагается океаническим (геосинклинальным) - базальты, андезито-базальты, известняки нижне-верхнего мела мощностью около 7000 м, островодужным андезиты, вулканомиктовые породы, известняки верхнего мела, 4000 м и орогенным - дациты верхнего мела, 2000 м, комплексами. В зонах Камахуани — Пласетас и Саса развиты основные и ультраосновные тела (гарцбургиты, дуниты, лерцолиты, габбро, диабазы). В зоне Саса размещается пояс гранитоидных интрузий (тоналиты, плагиограниты, гранодиориты, кварцевые диориты и сиениты, граносиениты, граниты). Образования мезозойской складчатой системы перекрыты верхнемеловой молассой.

С основным-ультраосновным хромитовые комплексом связаны магматические и железо-никель-кобальтовые латеритные месторождения [Большая Российская энциклопедия, 16]. С островодужным гранитоидным комплексом ассоциируют месторождения золота, вольфрама, руд рудопроявления железа; с геосинклинальным вулканогенным комплексом колчеданных руд и марганца, а с островодужным проявления меднорудные месторождения. В пределах метаморфического комплекса развиты колчеданные руды. Юрско-меловые терригенные и карбонатнотерригенные толщи вмещают месторождения меди, полиметаллов и барита [Большая Российская энциклопедия, 16].

Кайнозойская складчатая система (палеоцен-эоцен) сложена вулканогенно-осадочным комплексом - андезиты, их туфы, известняки, вулканомиктовые породы. Интрузии представлены гранитоидами и мелкими телами диоритов. К северу от Сьерра-Маэстры развит риолит-дацитовый комплекс. С вулканогенным андезитовым комплексом ассоциируют

меднорудные, полиметаллические и марганцевые месторождения; с риолитдацитовым — проявления цеолитов [Большая Российская энциклопедия, 16].

Отложения палеогена и неогена межгорных впадин представлены мергелями и известняками, в меньшей мере терригенными породами, с которыми связаны проявления фосфоритов [Большая Российская энциклопедия 16].

1.3. Положение Кубы в пределах Карибской плиты

Карибская плита — самостоятельная литосферная плита, расположенная в пределах Карибского моря и части Северной Америки, южнее полуострова Юкатан (рис. 1.3). Площадь плиты составляет около 3,2 млн км², в пределах которой присутствуют отложения океанического типа.

С юго-запада Карибскую плиту ограничивает сейсмофокальная зона, падающая на восток, по которой идет поддвиг океанической плиты Кокос под Карибскую плиту [Iturralde-Vinet, 2012]. Скорость движения плиты составляется 6,9 см/год (рис. 1.3).

С Южно-Американской плитой и плитой Наска Карибская плита имеет весьма сложные взаимоотношения. Присутствуют дивергентные и трансформные границы [Iturralde-Vinet, 2012].



Рис. 1.3 Тектоническая схема Карибского региона (no Iturralde-Vinent, 1998, 2000 с изменениями): 1 – Конвергентные границы (вдоль которых происходит столкновение литосферных плит); 2 – Дивергентные границы (раздвижные литосферных плит); 3 – Трансформные границы литосферных плит (сдвиговые смещения литосферных плит); 4 – Вулканы

Бассейн Карибского моря образован двумя глубоководными впадинами – Колумбийской (4240 м) на западе и Венесуэльской (5066 м) на востоке. Они имеют переработанную океаническую кору повышенной мощности [Iturralde-Vinet, 2012].

Антильская островная дуга протягивается с северо-запада на юговосток на 3500 км в виде изогнутой петли вокруг Карибского моря. (рис. 1.3).

В составе Антильской дуги присутствуют Большие Антильские острова: Куба, Ямайка, Эспаньола, Пуэрто Рико и Малые Антильские острова. На севере Карибская плита граничит с Северо-Американской плитой.

Граница Карибской плиты с Северо-Американской плитой (см. рис. 1.3) обусловлена присутствуем дивергентных границ, то есть границ раздвижения литосферных плит [Iturralde-Vinet, 2012]. К таким структурам относится протяжённый жёлоб Кайман, состоящий из двух разломов – Сгуан (южный) и разлома Ориенте (северный), относящихся к трансформным границам настоящих плит. В жёлобе Кайман присутствует микроплита Гонав. Откол этой плиты от острова Куба произошёл вдоль разлома Энрикильо-Плантэйн-Гарден в настоящее время (см. рис. 1.3). В восточном направлении трансформные границы литосферных плит жёлоба Кайман сменяются глубочайшим жёлобом Пуэрто Рико. (см. рис. 1.3).

Жёлоб Пуэрто-Рико — океанический жёлоб, расположенный на границе Карибского моря и Атлантического океана. Длина жёлоба составляет 1754 км, ширина около 97 км, наибольшая глубина составляет 8380 м, что является максимальной глубиной в зоне Атлантического океана.

Образование жёлоба Пуэрто-Рико связано со сложным переходом между зоной субдукции (см. рис. 1.3) вдоль островной дуги Малых Антильских островов к зоне трансформных разломов, простирающихся на запад между Кубой и Эспаньола через жёлоб Кайман к побережью Полуострова Юкатан.

Территория Кубы в настоящее время находится в пределах Северной-Американской литосферной плиты, ранее до конца эоцена она представляла собой самостоятельную часть Карибской плиты [Iturralde-Vinent, 1988].

Изменение положения Кубы связано с системой трансформных разломов. Возраст процесса оценивается в интервале от среднего до позднего эоцена [Draper, 1994].

Как сказано выше, в геологическом строений Кубы принимают участие вулканогенные, вулканогенно-осадочные, осадочные и плутоногенные комплексы мезозойского и кайнозойского возрастов.

В настоящее время Куба представляет собой сложную разновозрастную структуру. В её строении можно выделить отдельные самостоятельные районы, в том числе и часть Багамской платформы (северное побережье Кубы), на которую надвинуты с юга меловые островодужные вулканиты и реликты юрско-меловых офиолитов древней океанической коры.

Согласно Iturralde-Vinent (1998, 2009, 2012) в строении архипелага Кубы, можно выделить два структурных элемента: нижний – верхнеюрскийсреднезоценовый, имеющий название Ороген и верхний – породы которого имеют возраст от олигоцена до современной эпохи включительно, имеющий название Неоплатформа Эоцен. (рис. 1.4).

В составе Орогена присутствуют следующие комплексы: I – Северо-Американской плиты. II – компоненты Карибской плиты (см. рис. 1.4).

Породы Неоплатаформы Эоцен с верхнего эоцена до голоцена, сформировались в своеобразный этап геологического развития кубинской территории. В это время она представляла собой единый блок, образовавшийся после орогена, с породами моложе 37 миллионов лет.

В результате тектонические деформацией в пределах северных территории Карибского региона остров Куба оказывается в зоне влияния структур Багамской плиты Северной Америки (см. рис. 1.3-1.4).

Согласно Iturralde-Vinent (1998, 2009, 2012) на границе раздела Северо-Американской плиты с Карибской плитой получает широкое развитие тектонический субдукционный меланж, характерный для границ трансформных литосферных плит.

Подобные соотношения обычно приурочены к складчатым окраинам самостоятельных систем. Возникают сложные зоны пёстрых брекчий длительного развития (melange-смесь фр). Зоны меланжа образуются в

морских условиях и относительно глубоководных прогибах, ограниченных разломами. Формируются они в зонах развития надвигов. Возникают туфы и вулканиты диабазового состава, формируются гипербазиты и серпентиниты. Образуется серпентинитовый субдукционный меланж (см. рис. 1.4).

На границе раздела Карибской и Северо-Американской плит возникают зоны или блоки горных пород, заключённых в серпентиннтовой матрице, базальты и осадочные породы в переходных зонах к зонам меланжа (см. рис. 1.4).

В отдельных участках появляются смешанные комплексы пород, принадлежащие к Карибской и Северо-Американской плитам (см. рис. 1.4).

В составе комплекса Северо-Американской плиты выделяются две зоны: первая – Багамская платформа и вторая – комплекс метаморфических пород.

Для первой зоны характерны карбонатные и кремнистые отложения, для второй – метавулканиты, метамагматические породы в составе осадочных отложений.

Породы субдукционного меланжа занимают разнообразное тектоническое положение. Часто они присутствуют в зонах осадочных пород и в зонах, обогащённых серпентинитами.



Рис. 1.4. Стратиграфические колонки Кубы [no Iturralde-Vinent, 2012 с изменениями] (аббревиатуры относятся к толеитам островной дуги (ОДТ), щелочным (Щ) и известково-щелочным сериям (ИЗ-Щ)).

Геологическая карта Кубы (рис. 1.5) отражает наличие различных структур:

- кайнозойских осадочных пород (P₂-N-Q), представляющих неоплатформу Эоцен, отложения этой системы покрывают значительную территорию Кубы;

- меловых вулканических дуг (К₁-К₂);

- офиолитов (MZ);

- комплекса метаморфических пород (J₁-K).

В северной части Кубы обозначено положение пород Багамской платформы (J-K). На карте также показано положение различных разломов.



Рис. 1.5 Схематическая геологическая карта Кубы [no Iturralde-Vinent 1998 с изменениями]. Показано положение района Центральной Кубы: 1 – Багамская платформа (J-K); 2 – Комплекс метаморфических пород (J₁-K) Палеогеновый комплекс (P₁-P₂²); 3 – Офиолиты (MZ); 4 – Меловые вулканические дуги (K₁-K₂^{cp}); 5 – Кайнозойские Осадочные породы (P₂³-N-Q); 6 –Центральная Куба.

1.4. Геологическое строение Центральной Кубы

Ороген территории Центральной Кубы представлен различными структурными единицами: І- компоненты Североамериканской плиты, ІІкомпоненты Карибской плиты.

Значительная часть поверхности орогена покрыта отложениями, которые принадлежат неоплатформе эоцена.

В южной части Центральной Кубы располагаются метаморфические комплексы доюрского возраста, с которыми связаны стратиформные колчеданные месторождения. Породы комплекса подразделяются на два типа: Эскамбрай и Мабухина. Стратиформные отложения типа Эскамбрай вмещают колчеданные месторождения Карлота и Гуачинанго (SEDEX), локализованные в вулканогенно-осадочных и осадочных толщах (рис. 1.6месторождения 7,8).

Комплекс Мавухина структурно лежит В основании неметаморфических дуговых пород в Центральной Кубе и состоит из деформированных габбро, базальтов, базальтовых андезитов И пород, деформированных и метаморфизованных пирокластических В зеленосланцевую и амфиболитовую фации [Сомин, Мильян. 1981; Blein, 2003].

Породы вулканической дуги площадью около 2200 км² с возрастом от раннего (неоком) до позднего (кампан) мела занимают большую часть Центральной Кубы (см. рис 1.6). Имеющиеся данные позволяют выделить два вулкано-плутонических комплекса, сформированные в соответствующие этапы, разделенные перерывом предположительно между коньякским и сантонским веками.



Рис. 1.6 Геологическая карта Центральной Кубы. Расположение месторождений Центральной Кубы [по Пушаровкому, Ю. М. 1988, с изменениями]: 1 – комплекс метаморфических пород Эскамбрай (хлоритовые сланцы, сланец голубой и лавсонит; J₁-К); 2 – энсиматический метаморфизованный комплекс Мабухина (преимущественно амфиболиты и кристаллические сланцы; J₁-K); 3 – нижняя подсвита Лос-Пасос (с туфобрекчиями и лапиллиевыми туфами риолитов, в верхней части кремнистая порода, туфы андезидацитов, риолитодациты; K1); 4 – верхняя подсвита Лос-Пасос (базальты, туфы, туффиты, лавобрекчии, агломераты, андезиты, дациты, конгломераты, песчаники и известняки; К₁ - К₂); 5 – интрузии гранитов Маникарагуа (үК₂); 6 - Офиолиты; 7 – Неоген – Четвертичный неоплатформенный комплекс; 8 – осадочный чехол Багамской платформы; (N-Q); 9- Месторождения: колчеданные месторождения (Куроко). Свита Лос-Пасос, в кружках обозначены: 1 – Месторождение Сан-Фернандо; 2 – Индэпэндэнция; 3- Антонио; 4 – Лос Серрос; Рудопроявление 5- Ель Соль; 6 – Бока Торо; колчеданные месторождения (SEDEX). Эскамбрай: 7 - Карлота; 8 –Гуачинанго; Месторождения с порфирами Си-Аи Гранитов Маникарагуа: 9 – Аримао; 10 – Макагуа; скарново- магнетитовая: 11- Гуаос; отложения золото-лиственитовая: 12- Дескансо.

Нижний комплекс характеризуется бимодальными толеитовыми вулканитами, сформировавшимися В раннюю стадию примитивной островной дуги. Помимо вулканитов, нем представлена В полно (гранодиорит - гранит) плутоническая ассоциация в виде гранитов Маникарагуа.

Верхний комплекс сложен породами свит Ла Вруха, Аримао, Ла Рана, Которро, Пелао и Иларио (базальты, туфы, туффиты, лавобрекчии, агломераты, андезиты, дациты, конгломераты, песчаники и известняки). Он включает интрузии гранитов с золото-медно-порфировыми месторождениями (Аримао и Макагуа, см. рис 1,6 месторождения 9-10) и скарново-магнетитовым объектом Гуаос (см. рис 1,6, месторождение 11).

В северной части Центральной Кубы присутствуют офиолиты. Они образуют участки очень деформированной мантии, так как в период их формирования происходило смешивание пород Антильской тектонической дуги с офиолитами. Они представлены меланократовым фундаментом (перидотиты) и океаническими комплексами эффузивно-осадочных пород.

В зонах тектонического дробления в серпентинитах офиолитов, меланже тектонитов верхней части мантии известно рудопроявление Дескансо золото-лиственитовой формации (см. рис. 1.6, объект 12).

1.4.1. Краткая история изучения свиты Лос-Пасос и её рудоносности

Вулканогенный комплекс нижнего мела распространён в южных провинциях Сьенфуэгос, Вилья-Клара и Санкти-Спиритус в Центральной Кубе. Он объединён в свиту Лос-Пасос и отнесён к готеривскому ярусу мела [Zelepuguin, V. N., et al 1982, Diaz de Villalvilla 1997].

Район основных выходов свиты Лос-Пасос площадью около 100 км² занимает субширотную дугу протяженностью 35-40 км и шириной 4-6 км

(рис. 1.7, 1.8). Её условный центр расположен примерно в 5 км к северу от города Маникарагуа в провинции Вилья-Клара.

Свита Лос-Пасос представлена бимодальным вулканическим комплексом, В основном, подводного типа с геохимическими характеристиками аналогичными толеитам островных дуг или образованиям примитивных островных систем, включающих более кислые разности (риолиты, дациты) или промежуточные между более кислыми и основными породами [Zelepuguin, V. N., et al 1982].

Свита Лос-Пасос перекрыта породами свиты Матагуа (рис. 1.9). Прямой контакт между ними не наблюдается, но отмечены элементы согласного залегания. Большинство геологов, изучавших свиты, считают, что свита Матагуа имеет постепенный переход к породам свиты Лос-Пасос. [Zelepuguin, V. N., et al 1982, Diaz de Villalvilla 1997].

Свита Матагуа представлена лавами, лавобрекчиями и туфами андезитов, андезит-базальтов и базальтов, а также туффитами, известняками, песчаниками и алевролитами. Палеонтологических остатков в породах свиты не обнаружено. Вулканитам условно присвоен возраст нижнего мела. Они перекрыты известняками свиты Провинциаль, датированными биостратиграфически как альб-сеноман [Zelepuguin, V. N., et al 1982, Diaz de Villalvilla 1997] (puc 1.9).



Рис. 1.7. Схематическая геологическая карта Центральной Кубы и расположение месторождений Центральной Кубы [по Пушаровкому, Ю. М. 1988, с изменениями]: 1 – комплекс метаморфических пород Эскамбрай (хлоритовые сланцы, сланец голубой и лавсонит; J_1 -K); 2 – энсиматический метаморфизованный комплекс Мабухина (преимущественно амфиболиты и кристаллические сланцы; J_1 -K); 3 – нижняя подсвита Лос-Пасос (с туфо-брекчиями и лапиллиевыми туфами риолитов, в верхней части кремнистая порода, туфы андезидацитов, риолитодациты; K_1); 4 – верхняя подсвита Лос-Пасос (базальты, туфы, туффиты, лавобрекчии, агломераты, андезиты, дациты, конгломераты, песчаники и известняки; $K_1 - K_2$); 5 – интрузии гранитов Маникарагуа (γK_2); 6 – осадочный чехол Багамской платформы (N-Q); 7 – в кружках обозначены месторождения: 1 –Сан-Фернандо; 2 – Индэпэндэнсиа; 3 – Антонио; 4 – Лос-Серрос; рудопроявления: 5 –Эль Соль; 6 –Бока Торо; 8 - линия разреза.

Во многих обнажениях отмечено, что породы свиты Лос-Пасос метасоматически изменены. Обычно это новообразования аморфного кремнезема, мелкозернистого кварца с примесью эпидота, хлорита, гематита, серицита и каолинита.

В метасоматитах локализованы месторождения и рудопроявления колчеданных руд. Они в основном сосредоточены в районе Лос-Пасос. Рудные объекты относятся к месторождениям типа Куроко (VMS) [Zelepuguin, V. N., et al 1982; Diaz de Villalvilla, L. 1997; Gallardo, E. et al 2002; Cazañas 2017, Torres Zafra 2017; Де Ла Нуэс Колон. Д., Оникиенко, 2018].



Рис. 1.8 Схематический разрез по линии A-A' и размещение колчеданных месторождений Центральной Кубы. 1 – нижняя подсвита Лос-Пасос (K_1); 2 - верхняя подсвита Лос-Пасос (K_1 - K_2); 3 – рудоносные зоны; 4 –месторождения: 1 – Сан-Фернандо; 2 – Индэпэндэнсиа; 3 – Антонио; 4 – Лос-Серрос; 5-Рудопроявления: 5- Бока Торо; 6 – Эль Соль.



Рис. 1.9 Схематическая стратиграфическая колонка Центральной Кубы. [no Iturralde-Vinent. 2012, с изменениями]: 1- конгломераты; 2- песчаники; 3- известняки; 4- мергели; 5- риолиты; 6- дациты; 7- андезиты; 8- базальты; 9- туфы; 10- туффиты; 11рудоносные зоны.

1.4.2 Геологическая позиция колчеданных месторождений

Оруденение рассматриваемых в настоящей работе объектов представлено колчеданными рудами. Месторождение Сан Фернандо расположено в западной части рудного района в провинции Вилья-Клара, месторождение Антонио – на востоке в провинции Вилья-Клара, в 7 км к западу от него расположено месторождение Индэпэндэнсия, месторождение Лос-Серрос находится восточнее в провинции Санкти-Спиритус (рис. 1.10).

В целом рассматриваемый район охватывает площадь примерно 100 км² при длине 35-40 км и ширине 4-6 км.



Рис. 1.10 Спутниковый изображение расположения месторождений Центральной Кубы. [Google Satellite]: 1 – Сан-Фернандо; 2 – Индэпэндэнсиа; 3 – Антонио; 4 – Лос-Серрос; Рудопроявления: 5- Бока Торо; 6 – Эль Соль.

Месторождения имеют черты сходства и отличия, анализ которых важен для их геолого-экономический оценки и прогноза колчеданного и сопутствующего золотого и другого оруденения.

Района месторождения Сан-Фернандо сложен меловыми вулканогенноосадочными породами, которые характеризуется пирокластическими и субвулканическими фациями кислого и среднего состава. Они относятся к бимодальному вулканизму, возникающему преимущественно в подводных и локально субаэральных условиях. Эти породы по разрезу распределяются следующим образом. На верхнем уровне распространены в основном базальтовые лапиллиевые туфы с линзами базальтовых покровов и гравийных и песчаных туфов.

Дациты занимают центральную часть разреза и имеют небольшие мощности, в некоторых местах они выклиниваются и встречаются в виде прожилков, что указывает на их субвулканическое происхождение.

Нижний уровень представлен преимущественно горизонтами кислых туфов и пачками переслаивания туфов и осадочных пород и лавобрекчий, в которых встречается рудная минерализация. В этой группе наиболее распространенными являются лапиллиевые туфы гравийно-псамитовой гранулометрии, осадочные породы встречаются в меньшем количестве. Во многих разрезах распространены метасоматиты с преобладающими минеральными ассоциациями кварц-серицит-хлорит, включающих пирит и сфалерит.

1.4.3 Вмещающие породы и околорудные изменения

Рудовмещающие комплексы изучаемых месторождений представлены породами свиты Лос-Пасос, которые состоят в основном из риодацитовых лапиллиевых туфов и лавобрекчий (рис. 1.11).

В рудовмещающих породах выявлены окварцевание, серицитизация, гидрослюдизация с подчиненной и неоднородной хлоритизацией. Они выражаются в окварцевании, хлоритизации основной массы, вкрапленники и кристаллокласты плагиоклаза замещаются серицитом и глинистыми минералами.

Существуют метасоматические зоны. Наиболее широко распространены серицит-пиритовые изменения. Внутри них находятся внешние фации хлорита + пирита, которые включают внутренние локальные

зоны серицит+кварц+пиритовых новообразований и рудную колчеданную минерализацию.



Рис. 1.11 Микрофотографии основные породы свиты Лос-Пасос на месторождении Сан Фернандо (Николи +): a- SF97-16/158.75: риолит (Флюидный фрагмент); б- HG94-1/148.45т: туфы с фрагментами из кислого состава; в- SF96-10/4.20т: амфиболитизированный базальт; г- HG94-1/15.30т: туфы основного состава; дандезит-дацитовый порфир; е- андезит; атр- амфибол; plag- плагиоклаз.

1.4.4 Геохимия вмещающих пород

Содержание в породах свиты Лос-Пасос SiO₂ варьирует от 47% до 77%, что отражает бимодальность и существование двух больших групп: базальты и андезито-базальты, дациты и риолиты (рис. 1.12).

Для классификации вулканических пород и палеотектонических реконструкций использованы соотношения основных элементов И микроэлементов (HFSE, REE, переходные элементы и Th, которые считаются [Pearce, 2014]). неподвижными В постмагматических условиях В соответствии с классификационной диаграммой Pearce (1996) Zr/Ti и Nb/Y, можно различать породы базальтового состава от более средних (рис. 1.13).



Рис. 1.12 Диаграмма кремнезема-щелочи (Le Maitre, 1989) на месторождении Сан Фернандо. 1- основные породы (туфы и лавы); средние породы: 2- андезит-дацитовый порфир; 3- гетерогенные туфы; 4- андезиты; 5- кислые породы (лавы и туфы); 6рудовмещающие породы.



Рис. 1.13 Классификационная диаграмма Zr / Ті в сравнении с Nb / Y (Pearce, 1996 г. после Winchester и Floyd, 1977 г.) для мафических и фельсиковых вулканических пород из свиты Лос-Пасос. 1- базальты; 2- андезито-базальты; 3- риолиты

В рассматриваниях разрезах предполагается большое распространение андезитов (Thurston, 1986). Они находятся в виде пирокластических пород и подушечных покровов (пиллоу-лава). Породы подвержены метасоматозу.

На диаграмме рис.1.14А [Irvine, Baragar, 1971] состав пород показан в полях толеитовой и известково-шелочной серий. По [Peccerillo, Taylor, 1976] они попадают в основном в область толеитовой серии и подчиненно известково-щелочной (рис. 1.14Б).



Рис. 1.14. А- Диаграмма кремнезема-щелочи на месторождении Сан Фернандо по скважинам 16, 94-1, 12, 22) (Irvine & Baragar 1971) Б- Диаграмма кремнезема-щелочи SiO-кремнезема (%), определенной Peccerillo & Taylor, 1976. месторождении Сан Фернандо по скважинам 16, 94-1, 12, 22): 1- основные породы (туфы и лавы); средние породы: 2- андезит-дацитовый порфир; 3- гетерогенные туфы; 4- андезиты; 5- кислые породы (лавы и туфы); 6- рудовмещающие породы.

Высокозарядные элементы (HFSE), особенно Nb и Ta, встречаются в очень низких концентрациях в большинстве вулканических пород в области сходящихся полей. Stolz et al., [1996] сообщали что значения Nb/Ta для относительно истощенных вулканических пород островной дуги аналогичны MORB (базальтам срединно-океанических хребтов) и в основном хондритам (Nb/Ta ~ 17). В данном случае отношения Nb/Ta достигают значения менее 12. Такое относительное умеренное содержание Nb становятся очевидными и на диаграмме Nb – Zr – Y [Meschede, 1986], где они распределены в поле дуги и N-MOR (рис. 1.15А). вулканической Немного повышенное содержание в некоторых случаях может быть связано с локальной мантийного модификацией источника расплавами, полученными ИЗ отложений субдуцирующей плиты. Большие соотношения V/Ti изученных базальтов указывают на их формирование в условиях островных дуг в
противовес низким отношениям, которые характеризуют базальты, образованные в более зрелых задних дугах в соответствии с диаграммой тектонической классификации Shervais [1982] (рис. 1.15Б).



Рис. 1.15. Геохимические диаграммы для базальтовых пород из свиты Лос-Пасос, включая композиционные поля из других комплексов / источников для сравнения. (A) Тектоническая дискриминация Nb-Zr-Y диаграмма по Meschede (1986). (Б) Диаграмма Ti-V (Shervais, 1982), включая полевые номенклатуры, как рекомендовано Pearce (2014).

AI, AII: WP alcaline basalts; AII, C: WP tholeitic basalts; B: E-MORB basalts; C,D: volcanic arc basalts; D: N-MORB basalts.

Геодинамическая характеристика обстановки толеитов вулканических Лос-Пасос рудовмещающей пород толщи ИЗ свиты показывает на смешение мантийного источника (истощенная мантия-MORB-ОІВ-базальты океанических островов), определенного на диаграмме Th/Yb и Nb/Yb [Pearce и Peate 1995] (рис. 1.16) в направлении более высоких отношений Th/Yb и построение в области океанических дуговых базальтов [Pearce, 2014]. Это указывает на субдукционную составляющую в магмах и то, что источники базальтов были истощены или мантийные клинья N-MORB-типа (нормальных базальтов срединно-океанических хребтов) без каких-либо доказательств вклада от обогащенной мантии, как например, влияние мантийного плюма. Как правило, FAB (преддуговых базальтов) формируются из истощенного мантийного источника, тогда как более обогащенная мантия N-MORB является вероятным источником изученных нормальных IAT (островодужные толеиты) базальтов.



Рис. 1.16 Диаграмма Th / Yb и Nb / Yb Pearce и Peate (1995) для толеитов вмещающих вулканических пород из свиты Лос-Пасос.

Низкое сродство к «Low Ti» и IAT (островодужные толеиты) базальтов вместе с истощением микроэлементов фельзитовых вулканических пород характерны для постархейских VMS-несущих ювенильных вулканических комплексов.

Эти литогеохимические данные указывают на образование в преддуговой среде сразу после инициирования субдукции в связи с начальными экстенсивными режимами и связанными с ними бонинитными и толеитовыми расплавами, которые возникли в верхней мантии. В этом тектоническом режиме породы свиты Лос-Пасос и связанные с ней отложения VMS, вероятно, сформировались на немного продвинутой стадии внутриокеанического переднего края. Последнее означает что VMSминерализация, размещенная в свите Лос-Пасос, сформировалась сразу после

начала субдукции (конвергенции) и внедрении примитивных толеитовых расплавов. Следовательно, ассоциация низко Ті толеита и бонинита вместе с истощением микроэлементов фельзитовых вулканических пород, описанных в свите Лос-Пасос и взаимосвязь с минерализацией VMS, были реконструированы в доальпийских свитах из примитивного вулканизма островной дуги в Доминикане [Lewis and Draper, 1990; Lewis et al., 2002; Escuder-Viruete et al., 2007, 2009].

Представленные петрохимические данные и палеотектонические реконструкции подтверждают перспективы района на колчеданные вулканогенно-осадочные (VMS) месторождения в Карибском регионе.

Выводы по главе 1

 Установлена пространственная связь колчеданных руд, преимущественно, с гидротермально измененными кислыми туфами, брекчиями и андезит-дацитовыми порфирами.

- Низкое сродство базальтов в сочетании с истощением микроэлементов из фельзитовых вулканических пород указывают на образование в преддуговой среде сразу после начала субдукции по отношению к начальным экстенсиональным режимам и связанное с ними слияние бонинита и толеита, возникших в верхней мантии.

2. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ САН ФЕРНАНДО

В данной главе приведены материалы для обоснования первого и второго защищаемых положений: 1. "Известные на месторождении Сан-Фернандо медные, цинково-медные и пиритовые типы руд имеют сходный минеральный состав, текстуры и структуры, но при этом отличаются количественными параметрами рудных минералов, а руды - составом элементов, в которых установлены поздние выделения золота, электрума, алтаита и гессита."

2. "На основе анализа распространения главных рудных минералов и геохимических особенностей на месторождении Сан-Фернандо установлена вертикальная и латеральная минерально-геохимическая зональность. При этом в подошве рудных залежей развились пиритовые руды, сменяющиеся выше медными и перекрывающими их цинково-медными рудами, слагающие две рудоносные зоны. Прогнозируется, что крутопадающая зона поздней прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации окажется золоторудной".

Оруденение месторождения Сан Фернандо представлено серией линзовидных рудных тел пологого падения и сопровождающих их штокверков, локализованных в нижней части свиты Лос-Пасос, которая с несогласием перекрыта базальтами, андезитами, силлами, габбро свиты Матагуа (K₁-K₂) (рис. 2.1).

Рудоносная толща интрудирована крутопадающими послерудными дайками и субвулканическими телами диоритов. Вулканические покровы Матагуа, перекрывающие интрузивные породы, имеют запад-северо-западное простирание с азимутом 110° и север-северо-восточное падение с углами от 45° до 75° и характеризуются отсутствием оруденения.



Рис. 2.1 А- Геологическая схема района Лос-Пасос месторождения Сан-Фернандо Центральной Кубы и (Б) разрез (по Gallardo 2002 с изменениями). 1 - комплекс интрузивных гранитов Маникарагуа (K_2) (гранодиориты, плагиограниты, диориты, габбродиориты); 2 - свита Матагуа (K_1 - K_2). базальтовые андезитовые лавы, вулканические породы, габбро. 3 - Свита Лос-Пасос (K_1 - K_2) (с туфо-брекчиями и лапиллиевыми туфами риолитов, в верхней части кремнистая порода, туфы андезидацитов, риолитодациты), 4 - свита Лос-Пасос (K_1): (порфировые риолиты, риолитовые туфы, туфы андезито-базальтов, андезиты, риолитовая лаво брекчия, базальтовые лавы), 5- линия разреза.

Основные запасы месторождения связаны с линзовидными рудными телами, залегающими преимущественно полого. Они по большей части согласные с ориентировкой туфов и покровов риолитов. Часть рудных тел представлена штокверками. Ранее считалось, что месторождение представлено крутопадающим линейным штокверком [Лаверов и др., 1985].

Линзовидные рудные залежи нарушены северо-западными и северовосточными крутопадающими разломами. Их пострудный возраст устанавливается по смещениям линзовидных сульфидных рудных тел с массивной и слоистой текстурой руд, а также резким контактом рудного штокверка и слабо измененных риодацитов [Gallardo, 2002].

Площадь месторождения ограничена разломами северо-восточного и северо-западного (на севере) простирания (см. рис. 2.1). Разломы северозападного направления, очевидно, были поздними, поскольку один из них -Ла Качимба ограничивает расположенный в одном километре на северовосток от месторождения массив пострудных гранодиоритов.

Северо-восточные разломы имеют сдвиговую природу и смещают вулканические покровы. По времени проявления они близки к этапу рудообразования, поскольку не распространяются в пределы гранодиоритов (см. рис. 2.1). Они могут иметь рудоконтролирующее значение для жильноштокверковой сульфидной минерализации, включая золотую. Можно предположить, что северо-западные разломы, оперяющие северо-восточные сдвиги, могут вмещать жильную золото-сульфидную минерализацию. Кроме разломов СЗ-ых направлений, которые могут контролировать золотое оруденение, проявлены и субмеридиональные нарушения.

Рудные тела сопровождаются широкими ореолами метасоматической хлоритизации и пиритизации. Присутствуют локальные зоны кварцсерицитовых с пиритом метасоматитов. Во всей рудовмещающей вулканогенной толще встречаются пластовые тела баритовой минерализации.

Месторождение Сан Фернандо периодически эксплуатировалось различными испанскими, английскими, северо-американскими и кубинскими компаниями с момента его открытия в 1827 году до его окончательного закрытия в 1961 году. Общий объем добычи руд оценивается от 100 000 до 200 000 тонн руды при среднем содержании 3,4% Си и 6% Zn, извлеченных из подземного рудника глубиной 123 м [Gallardo, 2002].

В 2009-2012 период ΓГ. на месторождении проведены геологоразведочные работы с использованием бурения, в результате которых его площадь была расширена (рис. 2.2). В этой связи актуальным становится закономерностей локализации богатых выяснение рудной руд И вертикальной зональности месторождения.



Рис. 2.2 Схема расположения скважин месторождения Сан-Фернандо. 1скважины, пробуренные канадской компанией в 1997 г.; 2 – скважины, пробуренные в период 2009-2012 гг.

Основные рудные тела месторождения Сан-Фернандо имеют чечевицеобразную форму и сложены сульфидными рудами с массивными, брекчиевыми, вкрапленными и прожилковыми текстурами (рис. 2.3) [De la Nuez, 2015]. Широко распространены пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, тетраэдрит, теннантит, борнит, марказит и арсенопирит. В виде мелких прожилков и вкраплений отмечаются самородное золото, электрум, аргентит и гессит. Минерализация благородных металлов слагает прожилковую зону (stringer zone).

В рудах характерны идиоморфный пирит, аллотриоморфный халькопирит; в некоторых случаях наблюдается колломорфный пиритмельниковит в халькопирите, а также эмульсия халькопирита в сфалерите. [Де Ла Нуэс Колон. Д., Оникиенко. 2019].

Пирит представлен различными морфологическими разновидностями в связи с большей или меньшей степенью раскристаллизации. Есть идиоморфные кристаллы, иногда таблитчатые и колломорфные порфиробластовые выделения (рис. 2.4 а-б).

Сфалерит (марматит) цементирует пирит, контактирует с тетраэдритом и халькопиритом, встречается в виде эмульсии в халькопирите (рис. 2.4 в-г).

Тетраэдрит находится в срастании с халькопиритом и сфалеритом; иногда включен в последний (рис. 2.4 е).

Галенит присутствует в виде аллотриоморфных зерен. Ковеллин замещает пирит, сфалерит и борнит (рис. 2.4 д, ж). Гессит находится в небольших включениях в халькопирите и пирите (рис. 2.4 ё). Золото, электрум и аргентит в виде мелких выделений включены в пирит и халькопирит (рис. 2.4 з-и).



Рис. 2.3 Типичные текстуры колчеданных руд месторождения Сан-Фернандо. а массивная текстура пирита; б- вкрапленная текстура сфалерита; в – брекчиевая текстура кварц с пиритом; г - вкрапленная текстура пирита; д- прожилковая текстура халькопирита; е- прожилковая текстура халькопирита; ру - пирит; ср - халькопирит; sp - сфалерит; Q - кварц.



Рис. 2.4 Микрофотографии основные характеристики колчеданные руд Сан-Фернандо: а-SF 850-5/74.0 т: пирит представляем различными морфологическими разновидностями в связи с большей или меньшей степенью кристаллизации; б- SF 850-5/150.60 т: пиритмарказит таблитчатая и колломорфная текстуры); в- SF 97-16/147.0 т: сфалерит с включениями халькопирита; г- SF850-5/74.00: сфалеритовые звездочки в халькопирите; д-SF 805-6/96.0m: галенит находится в аллотриоморфных кристаллов; е- SF805-4/119.3: сфалерит (марматит) цементирует пирит, есть границы с тетраэдритом; ё- SF850-5/74.00: гессит находится в небольших включениях в халькопиритах; ж- F-33: ковеллин замещает пирит, сфалерит и борнит: ру-пирит; ср-халькопирит; sp-сфалерит; glгаленит; ру-та- пирит- марказит; tetra- тетраэдрит, he- гессит со- ковеллин; boборнит.

На месторождении Сан-Фернандо установлены три стадии гидротермального рудообразования и гипергенная минерализация (рис. 2.5).

Рудные минералы	Стадии	Стадии гидротермального этапа									
		выветривания									
	I	II	III								
Пирит											
Маркацит											
Тетраэдрит											
Сфалерит											
Галенит											
Халькопирит											
Борнит											
Пирротин											
Арсенопирит											
Электрум											
Гессит											
Алтаит											
Ковеллин											
Гетит											
Лимонит											
Текстуры и структуры руд	Вкрапленная, массивная, прожилковая	Вкрапленная, массивная, прожилковая, пятнистая	Вкрапленная, массивная, прожилковая	Рыхлая, прожилковая, каркасная							

Рис. 2.5 Схема последовательности минералообразования месторождения Сан Фернандо: 1 - главные минералы: 2 - сопутствующие минералы; 3 - редкие минералы.

2.1 Результаты электронно-зондового микрорентгеноспектрального анализа

С помощью этого метода исследования можно наблюдать минералы, которые не были обнаружены методом рудной микроскопии, из-за их небольшого размера, например, электрум и алтаит (рис. 2.6). Это существенно дополняет диагностику руд месторождения Сан Фернандо и распределение в них благородных металлов.

Установлено, что серебросодержащими минералами являются электрум, гессит и алтаит (табл. 2.1). Подчеркнем, что золото и золотосеребряная минерализация сформировались на поздней стадии гидротермального этапа.



Рис. 2.6 Микрофотографии результатов электронно-зондового микрорентгеноспектрального анализа руд Сан Фернандо: а- SF850-5/74.00: мелкие частицы электрума; б- SF850-5/74.00: мелкие частицы аргентита в пирите и халькопирите; в- SF 850-5/74.00: небольшие включения гессита в халькопирите; г- 605-3/62.30небольшие включения гессиат и алтаита в галените; ср-халькопирит; sp-сфалерит; gl-галенит; el- электрум; ар- аргентит; he- гессит.

Таблица 2.1

No	минералы	С	0	Na	Mg	Al	Si	Р	S	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Cu	Zn	Ag	Te	La	Ce	Nd	Sm	Pb
1	галенит								16,21														83,79
2	алтаит																	39,14					60,86
3	гессит																53,39	46,61					
4	алтаит																	38,4					61,6
5	гессит																56,08	37,7					6,22
6	сфалерит								35,39					5,64		58,96							
7	галенит								17,08														82,92
8	галенит	25,63							11,28														63,09
9	кварц		63,28				36,72																
10	сфалерит								40							60							
11	галенит	15,53							10,02														74,45
12	халькоп.								36,29					31,53	32,18								
13	сфалерит								35,18					11,1		53,71							
14	гессит								32,76					24,58	28,04		8,66	5,95					
15	сфалерит								37,01					10,14		52,85							
16	гессит		34,95		2,85	2,3	3,79							5,02			32,4	18,67					
17	гессит								9,29					3,52		19,14	44,44	23,6					
18	плагиокл		51,08	5,64		12,43	27,62				3,23												
19	сфалерит								34,66					9,01		56,33							
20	халькоп.								35,41					32,05	32,54								
21	пирит								54,92					45,08									
22	гессит	8,88	24,69		2,43	2,61	3,26		7,37					6,56	5,17		26,02	13,01					
23	сфалерит								34,87					6,67		58,46							
24	сфалерит								36,23					4,16		59,6							
25	слюда		50,95			17,79	23,76			7,51													
26	пирит								56,82					43,18									
27	монацит		35,06			1,48	1,53	12,9	2,45							5,7			7,6	16,73	12,78	3,78	

Химический состав минералов руд месторождения Сан Фернандо по результатам микрорентгеноспектрального анализов, ррт

28	пирит							53,54			46,46							
29	пирит							56,49			43,51							
30	сфалерит							36,24			5,29	58,47						
31	сфалерит	22,74	11					23,34			3,16	39,76						
32	сфалерит							34,4			4,34	61,27						
33	сфалерит							33,79			3,77	62,44						
34	рутил		43,6							56,4								
35	кварц		58,14			41,86												
36	монацит	3,22	27,13		1,69	3,35	9,15	7,6	0,85			14,11		7,15	14,44	8,22	3,08	

2.2 Вертикальная и латеральная минеральная зональность месторождения Сан-Фернандо

2.2.1 Закономерности распределения оруденения по геохимическим данным

Результаты анализов геохимического опробования проанализированы по данным разведки. По материалам предыдущих исследований известно, что рудные образования соответствуют базальтоидному типу субмаринных колчеданных месторождений [Старостин. 2004]. В этой связи для анализа использованы данные по Cd, Pb, Zn, Cu, Ag и Au в каждой из разведочных скважин и с привязкой по глубине. Из них выбраны Zn, Cu, Ag и Au, которые рассматриваются как металлы, представляющие наибольший экономический интерес. Учитывались содержания, превышающие предельные промышленные концентрации: Cu $\geq 0.5\%$; Zn $\geq 0.5\%$; Ag $\geq 1\%$; Au ≥ 0.5 ppm. Составлена соответствующая база данных и геоинформационный проект.

В результате построены упрощенные карты распределения каждого элемента по среднему рудоносному уровню, объединяющему все линзовидные рудные тела (рис. 2.7).

Выделяется две рудоносные зоны в плане - меньшая западная и большая неоднородная восточная. Видно зональное распространение концентрации меди внутри этих зон. Для восточной рудоносной зоны характерно практическое совмещение концентраций рассматриваемых металлов. В западной рудоносной зоне отмечается отчетливая асимметрия их концентраций. Концентрации золота и серебра в целом ассоциируют с Си и Zn, однако, видна и дискордантность, которая может указывать на наложенные процессы концентрации Au и Ag.



Рис. 2.7 Схема рудоносных зон Сан-Фернандо. (1 - Си, 2 - Zn, 3 - Аи, 4 - Аg).

2.2.2 Метод интерполяции

Для более корректного построения изоконцентраций компонентов использована интерполяция методом OBP (IDW) (обратно взвешенные расстояния). Инструмент OBP использует метод интерполяции, оценивающий значения ячеек посредством усреднения значений по точкам рядом с каждой обрабатываемой ячейкой. Чем ближе точка находится к центру ячейки, тем больше влияния, или информационного веса она имеет в процессе усреднения (рис.2.8).



Рис.2.8. Схемы изоконцентраций Си, Zn, Au и Ag

На представленных картах также видна конформность распределения Сu, отчасти Zn, а также частично Zn, Ag Au, и относительно независимое распределение Au и Ag. Концентрации благородных металлов имеют тренд протяженности в север-северо-западном направлении [Де Ла Нуэс Колон, 2020].

2.2.3 Закономерности распределения оруденения по распространению рудных минералов

Рудная минерализации изучена по 146 аншлифам. В каждом шлифе определен процент содержания пирита, халькопирита, сфалерита и пирротина. По этим подсчетам составлена база данных, в которой есть соотношения рудных минералов с привязкой каждой пробы по глубине. Она использована в географо-информационной системе QGIS. Составлен ряд рудной минерализации, где присутствует ≥5% того или иного рудного минерала, построена соответствующая карта (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Схема распределения халькопирита (1) и сфалерита (2) на месторождении Сан Фернандо.

Видно, что в целом участки концентрации халькопирита в большинстве случаев как бы «вкладываются» в скопления сфалерита. [Де Ла Нуэс Колон, 2020].

В пределах наиболее продуктивных флангов северо-востока и югозапада месторождения минералогический и химический анализ выявил наиболее высокие концентрации полезных компонентов на двух глубоких уровнях: 60–85,0 м и 125–160 м. Для этих более перспективных глубин по каждой скважине были составлены разрезы, в которых показаны распределения халькопирита, сфалерита и пирита на каждые 10 м стволовой мощности. По ним построены планы и блок-диаграммы распространения рудных минералов (рис. 2.10-2.15).



Рис. 2.10. Схема распределения сфалерита (%) для глубин 60-80 м на месторождении Сан-Фернандо.



Рис. 2.11. Схема распределения сфалерита (%) для глубин 120-160 м на месторождении Сан-Фернандо.



Рис. 2.12. Схема распределения халькопирита (%) для глубин 60-80 м на месторождении Сан-Фернандо.



Рис. 2.13. Схема распределения халькопирита (%) для глубин 120-160 м на месторождении Сан-Фернандо.



Рис. 2.14. Схема распределения пирита (%) для глубин 60-80 м на месторождении Сан-Фернандо.



*Рис. 2.15. Схема распределения пирита (%) для глубин 120-160 м на месторождении Сан-*Фернандо.

По наблюдаются представленным схемам минералогические линейной доказательства существования северо-западной зоны на месторождении, которая наиболее отчетливо видна по халькопириту на уровне 70 м (см. рис. 2.14) и по пириту на уровнях 70 и 80 м (см. рис. 2.15). При этом по халькопириту она имеет север-северо-западное простирание. Следует отметить, что наибольшие значения (концентрации) халькопирита установлены в скважине SF 97-22.

Согласно литературным источникам [Дергачев, 2010, Смирнов, 1979, Gaspar, 1996, Старостин, 2004 и др.] для типичных колчеданных месторождений характерна асимметрия: внизу - штокверк прожилкововкрапленных руд, над ними линза пиритовых массивных и слоистых руд, выше - пирит+халькопиритовые массивные, брекчиевые и слоистые руды, над ними (перекрывающие их) пирит-халькопирит-сфалеритовые руды (рис. 2.16).

Месторождение Сан-Фернандо в этом отношении своеобразно. В целом на нем в какой-то мере отражается классическая вертикальная зональность: пиритовые руды занимают нижние уровни цинково-медные средние и медные руды распространены на верхнем уровне. Также часть линзовидных рудных тел, сложенных в основном массивными, слоистополосчатыми и брекчиевыми рудами, имеет прожилково-вкрапленные руды в своем основании. Вместе с тем, по большей части на месторождении они распространены выше и в краю линзовидных рудных залежей. По этой причине значительную часть прожилково-вкрапленных руд, слагающих штокверки, следует отнести к более поздним образованиям.



Рис. 2.16. Месторождения, связанные с внутренней островной дугой (тип Куроко). (По Л. Бауману).А – схематический профиль сульфидных геосинклинальных месторождений типа Куроко: 1 – толеитовые вулканические породы (частично пиллоу- лавы), 2 – известков-щелочные вулканические породы и туффиты, 3 – пирокласты, 4 – риолиты, 5 – кислые туфы, 6 – сульфиды с ангидритом, Б – рудные месторождения типа Куроко: 1 – риолитовые лавы и пирокласты, 2 – туффитовые осадки, 3 – риолиты, 4 – брекчии

эксплозивных пород (а- неминерализованная, б – минерализованная), 5 – черные сланцы (частично с ангидритом и гипсом), 6 – глинистые сланцы, подстилаемые железистыми кварцитами, и сланцеватая глина, 7 – жилы, 8 – штокверк с прожилками (поперечное врезание), 9 – полосчатые и массивные сульфиды, перекрываемые баритом, 10 – ангидрит, гипс, 11 – рудные инфильтрации и замещения в неуплотненных осадках; I – IV – типы месторождений и руд: I – трещинный тип (а – жилы, б – зона прожилков, поперечное врезание с рудными вкраплениями и метасоматизмом, II – стратиформный (а – желтые руды «Кейко», б – черные руды «Куроко»), III – обусловленные инфильтрацией и замещением, IV – субмаринные остаточные руды (механическое выветривание).

Согласно данным последних геологоразведочных работ зоны рудной минерализации распространены на трех уровнях. Все рудные тела расположены в андезит-дацитовых порфирах свиты Лос-Пасос. Медные руды нижнего уровня подстилаются пиритовыми рудами. Минимальное содержание меди составляет 3%, достигая значений 14,4%. Характерными минералами являются халькопирит и пирит, реже тетраэдрит и сфалерит. Жильные минералы представлены кварцем, серицитом и хлоритом. Характерными текстурами являются массивные, густо вкрапленные и пятнистые. Структуры руд: аллотриоморфнозернистая, коррозионная и цементная.

Пиритовые руды сосредоточены в нижних горизонтах месторождения. Пирит является компонентом руд, с содержаниями от 2 до 80%, реже появляются марказит, сфалерит, халькопирит, тетраэдрит и галенит.

Цинково-медные руды слагают два верхних уровня. Содержание Zn <0,5% и Cu 0,5% низкое, этот тип минерализации можно назвать стерильным Преобладающими текстурами ОТ пирита. являются вкрапленная И бывают идиоморфнозернистые прожилковая. Структуры И руд аллотриоморфнозернистые.

Соотношение пиритовых, цинково-медных, медных руд и участки бедных прожилково-вкрапленных руд отражаются и на отдельных колонках по скважинам (рис.2.17).



Рис. 2. 17. Колонки месторождения Сан Фернандо. по скважинам SF655-1, SF97-22:1-6 породы свиты Лос-Пасос: 1- железная шляпа лимонитовая порода, 2- риолит-порфиры, 3- базальтовые лапилиевые туфы, 4- лавобрекчии, 5- базальты, 6- андезит-дацитовые порфиры, 7- участки бедных прожилково-вкрапленных руд, 8 - пиритовые руды, 9 - медные руды, 10 - цинково-медные руды.

Для определения пространственной позиции минерализованных зон составлены разрезы по каждой скважине. На основании разрезов по 20 скважинам составлены профили, пересекающие месторождение с юго-запада на северо-восток, с севера на юг и северо-запада на северо-восток. Они показаны на карте расположения скважин (рис. 2.18). Профили построены с учетом данных минералогических исследований и элементного анализа по рядовому опробованию (рис. 2.19-20).



Рис. 2.18. Схема расположения скважин месторождения Сан Фернандо. 1- скважины, пробуренные канадской компанией в 1997 г.; 2 – скважины, пробуренные в период 2009-2012 гг.; 3 - линия разреза С-Ю, 4- линия разреза ЮЗ-СВ, линия разреза СЗ-ЮВ.



Рис. 2.19. Геологический разрез месторождения Сан Фернандо. С-Ю. 1-5: породы свиты Лос-Пасос: 1- лавобрекчии, 2 - базальтовые лапиллиевые туфы, 3- риолит-порфиры, 4базальты, 5- андезит-дацитовые порфиры, 6- медные руды, 7 - цинково-медные руды, 8 пиритовые руды, 9- участки бедных прожилково-вкрапленных руд, 10 - контуры рудных тел, 11 – разведочные скважины, 12- контуры прогнозных зонах на золото.



Рис. 2.20. Геологический разрез месторождения Сан Фернандо ЮЗ-СВ.1-9: породы свиты Лос-Пасос: 1- железная шляпа лимонитовая порода, 2- лавобрекчии, 3 - базальтовые лапиллиевые туфы, 4- риолит-порфиры, 5- базальты, 6- андезит-дацитовые порфиры, 7 микродиорит-порфиры, 8- известняки, 9- риолиты, 10 - медные руды, 11- цинково-медные руды, 12 - пиритовые руды, 13- участки бедных прожилково-вкрапленных руд, 14 контуры рудных тел, 15 – разведочные скважины, 16- контуры прогнозных зонах на золото.



Рис. 2.21. Геологический разрез месторождения Сан Фернандо СЗ-ЮВ. 1-7: породы свиты Лос-Пасос: 1- железная шляпа лимонитовая порода, 2- лавобрекчии, 3 - базальтовые лапиллиевые туфы, 4- риолит-порфиры, 5- базальты, 6- андезит-дацитовые порфиры, 7-риолиты, 8 - цинково-медные руды, 9 - пиритовые руды, 10- участки бедных прожилково-вкрапленных руд, 11 - контуры рудных тел, 12 – разведочные скважины, 13-контуры прогнозных зонах на золото.

Все линзовидные рудные залежи сопровождаются прожилкововкрапленными рудами, которые в виде зон примыкают к ним сверху, частично снизу и в основном к северным контактам рудных линз. Прожилково-вкрапленное оруденение экранируется покровами базальтов. Скорее всего, эти прожилково-вкрапленные руды слагают зоны линейных штокверков крутого падения. В них могут располагаться собственно золоторудные залежи, которые должны включать и линзовидные рудные тела. Это подтверждается и по содержанию золота и золото-серебряных отношений по разным типам колчеданных руд (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Распределение содержаний золота и золото-серебряных отношений разных медно-цинковых рудах месторождения Сан-Фернандо

Типы Cu-Zn руд	Au, пределы значений, г/т	Аи, среднее значение, г/т	Au/Ag	Число проб
Богатые и рядовые массивные, слоистые и брекчиевые руды линзовидных залежей	0.004-9.1	0.95	0.013	27
Бедные прожилково-вкрапленные руды предположительно штокверковых тел	0.004-2.5	0.16	0.02	23

На рисунке 2.22 показана 3D-модель минерализации месторождения

Сан Фернандо, построенная на основе геологических профилей.



Рис. 2.22 3D- модель распределения минерализации на месторождении Сан Фернандо: 1свита Лос Пасос; 2 – медные руды, 3- цинково-медные руды, 4 - пиритовые руды, 5участки бедных прожилково-вкрапленных руд. А-Б разрез СЗ-ЮВ; Б-В разрез ЮЗ-СВ.; В-Г разрез С-Ю.

Анализ построенных профилей позволяет изложить следующие закономерности распределения рудной минерализации на месторождении.

Во-первых, проявлено три яруса рудоносных зон (оруденения) с кулисообразным расположением рудных тел. Расстояние между рудными линзами в плане колеблется от 10-15 м до 40-50 м. Нижний ярус представлен пиритовыми, средний - медными, верхний - цинково-медными колчеданными рудами. Рудные залежи субпараллельны и имеют северо-северо-западное преимущественно моноклинальное залегание с углами падения от 5-10⁰ до 35⁰. Намечается флексурное осложнение рудоносных зон с субширотной осью, проходящей по скв. 850-3, возможно фиксирующей рудоподводящий канал.

В плане выделены две наиболее продуктивные рудоносные зоны субмеридионального простирания - меньшая западная и большая восточная.

Во-вторых, все линзовидные рудные залежи сопровождаются прожилково-вкрапленными рудами, которые в виде зон примыкают к ним сверху, возможно в основном снизу и к северным контактам рудных линз. Скорее всего, эти прожилково-вкрапленные руды слагают зоны линейных штокверков крутого падения, возможно выполняющих роль рудоподводящих каналов.

В-третьих, сульфидное оруденение распространяется в породах кислого состава. Прожилково-вкрапленное оруденение экранируется покровами базальтов.

На основании полученных данных и с учетом тектонической позиции месторождения составлена прогнозная схема на золотое оруденение (рис. 2.23). Выделенные перспективные зоны имеют крутое падение и в основном северо-западное простирание. Перспективные зоны показаны на профилях (см. рис. 2.19 - 2. 21). [Де Ла Нуэс Колон. Д., Игнатов, 2020].



Рис. 2.23. Схема расположения скважин на месторождении Сан Фернандо. 1- скважины; 2 – контуры прогнозных зон на золото. 3 - контуры предполагаемых золотоносных штокверков.

2.3 О перспективах рудных отвалов на месторождении Сан-Фернандо

Внимание к рудным отвалам месторождения Сан-Фернандо обусловлено обнаружением автором в отвалах складированных руд микровключений электрума и теллуридов золота в пирите, халькопирите, галените и сфалерите. При развитии природной или техногенной зоны окисления золото могло высвобождаться из сульфидов, переходить в свободную форму и накапливаться.

Кроме того, выше обосновано вероятное присутствие на месторождении и собственно золоторудных зон в бедных по меди и цинку прожилково-вкрапленных рудах. При окислении таких руд концентрация золота может быть ещё больше.

Любая добыча полезных ископаемых сопровождается накоплением рудных отходов, которые обычно хранятся в местах, расположенных в пределах горного отвода. Сан-Фернандо не является исключением. Рудные отвалы находятся недалеко от шахт. Пример отвалов шахты Сан-Фернандо показан на рисунке 2.24.



Рис. 2.24. Фотография рудных отвалов шахты Сан-Фернандо, где наблюдается весь раздробленный и сильно измененный материал.

Существующие отвалы сложены лимонитизированными образованиями мелко- и крупно щебнистого материала. Они залегают в виде нескольких изометричных в плане куч высотой до 15-20 м с поперечными параметрами 40 х 60 м.

Выше отмечено, что месторождение отрабатывалось еще испанцами. Следовательно, возраст многих рудных отвалов как минимум превышает 50 лет. Учитывая тропические условия Кубы, за эти годы все сульфиды в отвалах должны быть полностью окислены. Значит, и все золото из них должно было высвободиться.

Опыт изучения зон окисления золотоносных сульфидных месторождений показывает, что высвобождающееся золото гравитационно проседает и накапливается вблизи неокисленных руд [Бойцов и др., 1999,

Голенев, 2006, Нарсеев и др., 1989, Яхонтова, Грудев, 1978 и др.]. В случае техногенного окисления оно, вероятно, должно скапливаться в самой нижней части (подошве) отвалов.

2.3.1 Расчет оценки ресурсов золота

При оценке ресурсов учитывался объем несущей зоны=125m x50m x10m=62500 m³.

Объем руды=125m х 50m х 8m=50000 m³

Отношения отвалов / руды =62500m³/50000m³=1.25

Объем отвалов будет тогда: 1.25 x 200 000 t добытой руды =250 000 t отвальной массы.

Количество золота в отвалах =0.1 g/t и более = 250 000 t=25000 g=25 kg Au=803.7626 oz (тройские унции)

Потенциальная стоимость по текущей цене золота=803.7626 ozt x1733.55 USD/ozt=1 393 362.65 USD

При условии экстракции 63% и выщелачивании в стеках (опыт выщелачивания золота в стеках барита, Куба).

0.63x803.7626 ozt=506.37 ozt x1733.55 USD/ozt=877 818. 5 USD Указанная цифра может представлять предполагаемую стоимость извлеченного золота. [Де ла Нуэс Колон Д., 2020].

Это исследование проводилось только для Au, но известно, что другие металлы, такие как Ag, Cu, Zn, также будут переотложены при окислении. Кроме того, ранее перерабатывались только богатые руды, а руды с рядовыми содержаниями металлов складировались в отвалах, как забалансовые. Ныне они, как правило, являются балансовыми, а иногда и

богатыми, что значительно повышает экономическую ценность «древних» отвалов.

Учитывая изложенные предварительные результаты, рекомендуется провести детальное изучение золотоносности, включая опробование этих отвалов.

Выводы по главе 2

 Прецизионными методами электронно-зондового микроанализа в рудах установлены золото-и серебросодержащие минералы: электрум, гессит и алтаит, которые формировались в заключительную стадию гидротермального этапа минералообразования.

 Известные на месторождении медные, цинково-медные и пиритовые типы руд имеют схожие минеральный состав, текстуры и структуры, но отличаются количественными параметрами рудных минералов и элементного состава.

 В пределах рудовмещающей пачки туфов и лавобрекчий риолитов выделены три линзовидные рудные залежи. В основании каждой из них распространены пиритовые руды.

– На месторождении Сан-Фернандо установлена не типичная для колчеданных объектов вертикальная минералого-геохимическая зональность, выражающаяся в преимущественном распространении в подошве залежей пиритовых руд, сменяющихся выше медными и перекрывающими их вверху цинково-медными рудами.

 Над линзовидными залежами наблюдаются штокверковые прожилково-вкрапленные руды, именно их можно отнести к более поздним.
Они могут содержать золотую промышленную минерализацию.

Доказательства существования на месторождении линейной крутопадающей штокверковой зоны север-северо-западного простирания подтверждаются распространением золота, серебра и пирита на уровнях 70 м и 80 м, а также халькопирита на уровне 70 м.

 По составленным в ГИС-среде картам изоконцентраций рудных элементов и соотношению халькопирита и сфалерита в пределах изученной площади, размером 3 км² выявлены основные концентрации в рудах Сu, Zn, Au и Ag.

– Анализ распространения рудных компонентов и минералов позволил выделить две рудоносные зоны – западную и восточную. Самые высокие концентрации халькопирита и сфалерита обнаружены на северовостоке и юго-западе площади исследования. Глубины, где эти минералы наиболее сконцентрированы, находятся в диапазоне 60 – 85,0 м и 125–160 м. Именно эти интервалы отличатся высокими концентрациями Cu, Zn, Ag и Au.

 Относительно независимое распределение золота и серебра в контурах высоких концентраций Си и Zn указывает на проявление возможно наложенных процессов, обеспечивших концентрацию благородных металлов.

Автор рекомендует провести детальное исследование золотоносности рудных отвалов вблизи шахты Сан-Фернандо, поскольку они могут содержать значительные ресурсы золота.

Таким образом, приведенные данные служат основанием для доказательства первых двух защищаемых положений: раздел 2.1. - первого и 2.2. - второго.
3. КОЛЧЕДАННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КУБЫ

В главах 3 и 4 приведены доказательства третьего защищаемого положения «Колчеданные месторождения Сан Фернандо, Индэпэндэнсиа, Антонио, Лос-Серрос и рудопроявления Бока-дель-Торо и Эль-Соль, локализованные в свите Лос-Пасос, размещаются, подтверждая широтную зональность рудного района Центральной Кубы. На западе его преобладают медно-колчеданные месторождения с сопутствующими золоторудными объектами, а на востоке распространены медно-цинковые колчеданные месторождения с баритом и золото-серебряными образованиями. Изложенное подтверждается геохимическими отличиями месторождений.»

3.1 Характеристики колчеданных месторождений центральной Кубы

Месторождения имеют разную степень изученности, что обусловлено их разным экономическим значением. Сан-Фернандо и Антонио наиболее изучены [Лаверов, 1985 и др.; Díaz de Villalvilla, 1997; Gallardo, 2002; Де Ла Нуэс Колон Д., Санта Крус Пачэко М, 2020].

Геологическое строение *месторождения Сан-Фернандо* приведены выше, при доказательстве первого и второго защищаемых положений.

Месторождение Индэлэндэнсиа имеет протяженность один км. Оно локализовано вдоль контакта интенсивно лимонитизированных и серицитизированных риолит-порфиров со слабо измененными риолитовыми лавобрекчиями (рис. 3.1 и 3.2). Рудная минерализация представлена вкраплениями халькопирита, сфалерита и пирита (рис. 3.36) в интенсивно окремнённых и рыхлых породах. Содержание полезных компонентов приведено в таблице 1. Единичные скважины пересекли рудную зону мощностью 3 м на глубине 97 м со значительным содержанием Cu 3,5%, Zn 7%, серебра 166 г/т и золота 3 г/т.

Месторождение Антонио имеет протяженность 350 м по простиранию, 250 м по падению и при средней мощности 11 м состоит из двух рудных тел (рис. 3.4). Первое сложено массивным пиритом, второе включает участки, обогащенные халькопиритом и сфалеритом, с меньшим количеством теннантита, галенита и небольших включений электрума, гессита, кварца, карбоната и барита [Gallardo, E. 2002].

Выделяются две стадии отложения сульфидов: ранняя, когда кристаллизовался мелкозернистый пирит и поздняя метасоматическая, во время которой отлагалась ассоциация пирит - халькопирит - сфалерит.

Отличительной особенностью этого месторождения является присутствие в рудах колломорфного пирита (рис. 3.3в).

Ha месторождении установлена классическая для колчеданных оруденения. объектов вертикальная зональность На нижнем уровне преобладают серно-колчеданные руды с содержаниями Zn <0.5% и Cu <0.3%. Выше залегают медно-цинковые колчеданные руды с содержаниями Си 1-12% и Zn от 1% до более чем 10%. На самом верхнем уровне расположены существенно медные руды с содержаниями Си 0.3%- 2% и Zn <0.5%. Мощность зон составляет примерно первые десятки метров. Границы зон постепенные.



Рис. 3.1. Геологическая схема района Лос-Пасос и месторождений Индэпэндэнсия и Антонио в пределах Центральной Кубы. 1 - комплекс интрузивных гранитов Маникарагуа (K₂) (гранодиориты, плагиограниты, диориты, габбродиориты); 2 - свита Матагуа (K₁-K₂). базальтовые андезитовые лавы, вулканические породы, габбро. 3 - Свита Лос-Пасос (K₁-K₂) (с туфо-брекчиями и лапиллиевыми туфами риолитов, в верхней части кремнистая порода, туфы андезидацитов, риолитодациты), 4 - свита Лос-Пасос (K₁): (порфировые риолиты, риолитовые туфы, туфы анддезибазальтов, андезиты, риолитовая лаво брекчия, базальтовые лавы).



Рис. 3.2. Колонки месторождений Индэпэндэнсия и Антонио. по скважинам 98-01 и A n t 94-25: 1-7 породы свиты Лос-Пасос: 1- измененные околорудные породы, 2- базальты, 3- андезит-базальты, 4- лавобрекчии, 5- туфы, 6- риолитодациты, 7- риолит-порфиры, 8 - пиритовые руды, 9 - медные руды, 10 - цинково-медные руды.



Рис. 3.3. Микрофотографии основные характеристики колчеданные руд Центральной Кубы. а; Месторождение Индэпэндэнсиа: образца 21092 типичная структура сульфидных руд состоящее из сфалерита, халькопирита и пирита; б –Месторождение Антонио: PBA – 4/125.20m: халькопирит цементирует пирит (аллотриоморфная текстура); в – Месторождение Антонио: PBA-1/166.0m: халькопирит цементирует пирит (колломорфная текстура); г – Месторождение Лос-Серрос: образца Т -1080 в рудах, имеющих вкрапленную структуру, сфалерит цементирует халькопирит и галенит. ру-пирит; ср-халькопирит; sp-сфалерит; gl-галенит.



Рис. 3.4. Разрез месторождения Антонио: 1- железная шляпа лимонит порода, 2 - породы свиты Лос-Пасос, 3 - медные руды, 4 - цинково-медные руды, 5 - пиритовые руды, 6 - контуры рудных тел, 7 – разведочная скважина.

Оруденение *месторождения Лос-Серрос* главным образом связано с силицификацей вулканических пород. Месторождение состоит из двух массивных сульфидных залежей мощностью 1 - 3 м, длиной 100 м по простиранию и 80 м по падению. Для месторождения характерен галенит и вкрапленные структуры руд (рис. 3.3г).

На месторождении распространены покровы и силлы кислых и основных пород. Центральная зона состоит из покровов базальтов и лавобрекчии (рис. 3.5). Породы гидротермально изменены и, помимо окварцевания, представлены серицитовыми, пиритовыми, гематитовыми и баритовыми метасоматитами. Наибольшая рудоносность намечается для вкрапленных руд, в зоне которых пройдена шахта Лос-Серрос. Оруденение имеет местное значение.



Рис. 3.5. Геологическая схема района Лос-Пасос месторождения Лос-Серрос Центральной Кубы. 1 - комплекс интрузивных гранитов Маникарагуа (K₂) (гранодиориты, плагиограниты, диориты, габбродиориты); 2 - свита Матагуа (K₁-K₂). базальтовые андезитовые лавы, вулканические породы, габбро; 3 - свита Лос Пасос (K₁): (порфировые риолиты, риолитовые туфы, туфы анддезибазальтов, андезиты, риолитовая лавобрекчия, базальтовые лавы); 4 - свита Провинциаль; 5 - свита Исабель; 6-свита Хусиё: лавобрекчия; 7 - свита Саса: глины с прослоями песчаников и мергелей.

Рудопроявление Эль-Соль мало изучено, хотя известно, что в 1927 году американская компания вела здесь добычу меди. Территория охватывает 3,2 км². В 1997 г. геологоразведочные работы провела канадская компания Holmer Gold Mines Limited. Было пробурено три скважины, и получены рудные содержания меди (0,74%), цинка (10%) и серебра (0,3г/т).

На рудопроявлении Бока-дель-Торо описаны покровы базальтов и андезитодацитов и дайки кислого и основного состава [Delgado, S. 1991]. В центре участка отмечена интрузия гранодиорит-порфиров. Выделена зона метасоматитов, которая пересекает весь участок с общим направлением север-северо-запад. Отмечены малахит, азурит и барит. Максимальные содержания меди (0,8%), цинка (1,05%) и золота (0,6г/т).

Приведенные данные показывают, что колчеданные руды рассмотренных объектов имеют сходный минеральный состав и текстуры. Надо отметить кристаллически зернистые пиритовые руды месторождения Сан Фернандо и колломорфнные – Антонио. [Де ла Нуэс Колон Д., Санта Крус Пачэко М, 2020].

Вместе с тем, надо сказать о широтной зональности колчеданного и благородно- метального оруденения рудного района Центральной Кубы. На западе преобладают медно-колчеданные месторождения с сопутствующими золоторудными объектами. На востоке распространены медно-цинковые колчеданные месторождения с баритом и золото-серебряными объектами.

3.2 Выделение геологических структур в Центральной Кубе по магнитометрии и аэрогамма-спектрометрии

Использование материалов аэромагнитной и аэрогаммаспектрометрической съемки является эффективным средством для выделения элементов геологического строения территорий, в том числе и рудоконтролирующих структур [Бондаренко и др., 1998, Демура, Петров,

2019, Портнов, 2020 и др.]. По магнитометрии выделяются осадочные, метаморфические и магматические комплексы, различающиеся по магнитной восприимчивости, а также по высоко градиентным линейным зонам наблюденного магнитного поля - разрывные нарушения. По соотношению урана, тория и калия можно устанавливать и картировать рудоносные метасоматиты, в том числе и вмещающие золотое оруденение.

Ниже приведены результаты аэромагнитной и аэрогаммаспектрометрической съемки района масштаба 1:50 000 [Mondelo et al., 2011].

3.2.1. Основные тектонические нарушения района

В районе Центральной Кубы основные разломы связаны с субширотным тектоническим контактом между свитами Лос-Пасос и Матагуа (рис. 3.6). Они представлены крутыми надвигами-взбросами и формировались во время кайнозойского орогенеза в условиях транспрессии. С этим этапом связан и постмеловой метаморфизм и активизация метаморфогенно-гидротермальных систем, в том числе рудообразующих.

Региональному меридиональному стрессу сопутствовало образование разломов второго порядка, которые представлены серией диагональных нарушений. Как следует из данных геологического картирования (см. рис. 2.1.А) северо-восточная серия таких нарушения, вероятно, была сдвигами, сформированными в рудную эпоху. Соответственно, можно предполагать, что оперяющие разломы третьего порядка северо-западного направления при правосторонне-сдвиговом механизме разломов второго порядка могли быть рудоконтролирующими.



Рис. 3.6 Тектоническая карта Центральной Кубы [по IGP 2014]. 1 – надвиговые разломы; 2- установленные разломы; 3- геологические границы. Колчеданные: месторождения: 1 – Сан Фернандо; 2 – Индэпэндэнсиа; 3 – Антонио; 4 – Лос-Серрос; рудопроявления: 5 – Эль Соль; 6 – Бока--Торо; месторождения с порфирами: 7 - Макагуа, 8 - Аримао.

3.2.2 Преобразования магнитометрии

Методы редукции к полюсу

К данным аэромагнитной карты, представленной наблюдаемым полем и скорректированной с учетом изменений, за исключением нормального поля, было применено преобразование редукции к полюсу. Оно состоит из преобразования магнитных данных для пересчета напряженности полного поля, как если бы индуктивное магнитное поле имело наклон 90 градусов. Наиболее просто понять смысл этой трансформации можно на примере двумерных объектов, воспользовавшись теоремой вращения для магнитного Баранов, 1980, Блох, 2009]. B соответствии ней, поля с если намагниченность любого двумерного тела повернуть на некоторый угол, то во всех внешних точках вектор аномального поля повернется на такой же противоположном направлении. Приведение полюсу угол, К но В

предполагает, что все породы в исследуемой области были намагничены действующим магнитным полем, это возможно только в породах, которые не имеют остаточной намагниченности, то есть они имеют только наведенную намагниченность [Ramos et al., 2014].

Физические свойства пород и руд

Согласно литературным источникам [Горбунова, 1982, Vázquez и др., 1993] осадочные и метаосадочные породы имеют самые низкие значения плотности в районе исследований, а магматические породы имеют наибольшее значение плотности (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Горные породы	Средняя плотность (t/m ³)	Средняя магнитная восприимчивость (10 ⁻³) СИ	
Дайки средние породы	2,64	0,18	
Андезиты	2,65	0,15	
Туффиты, андезиты	2,66	1,61	
Дациты	2,79	0,18	
Метасоматит без минерализации	2,8	0,13	
Диабазы	2,82	0,14	
Базальты	2,9	-	
Рудоносные породы	4,48	0,48	
Известняки	2,05	0,243	
Туфы	2,13	4,61	
Глины	2,25	1,3	
Гранодиориты	2,69	4,19	
Габбро	2,81	4,00	
Амфиболиты	2,93	2,07	
Сланцы графиты и слюдистые	2,54	0,61	
Зеленые сланцы	2,69	0,63	
Мраморы	2,64	0,71	
Кварциты	2,55	0,43	
Серпентиниты	2,00	2,3	
Измененные серпентиниты	2,62	4,81	
Массивные серпентиниты	2,65	0,21	
Сланцы	2,87	0,47	

Физические свойства (средние значения плотности и магнитной восприимчивости) основных геологических породы Центральной Кубы. (по Vázquez и др. 1993).

Породы, обладающие наибольшей магнитной восприимчивостью, с учетом изменений, за исключением нормального поля, было применено преобразование редукции к полюсу. Приведение к полюсу предполагает, что все породы в исследуемой области были намагничены действующим магнитным полем, это возможно только измененными серпентинитами, габбро, гранодиоритами интрузии Маникарагуа, лавами, лавобрекчиямии, туфами и туффитами андезитов и андезито-базальтов, амфиболитами свиты Лос-Пасос. Дациты, известняки, песчаники и алевролиты свиты Матагуа имеют низкую магнитную восприимчивость. Относительно низкие магнитные свойства также имеют сланцы, мраморы, дациты, метасоматиты и рулоносные образования свиты Лос-Пасос.

В районе Центральной Кубы аномальное магнитное поле имеет сложное строение со знакопеременными зонами (рис. 3.7). В меловой вулканической дуге с юга на север видна последовательность максимумов и минимумов, связанных с породами свиты Ла Бруха, которая состоит из туфов, дацитов и андезитов.

Относительные полосовидные максимумы чередуются с областями положительного аномального магнитного поля меньшей напряженности, иногда близкого к нулю, которое к Ю-ЮЗ может локально переходить к отрицательным значениям. В свитах Матагуа и Провинциаль чередование магнитных максимумов с областями слабо положительных и отрицательных значений усиливается, образуя своего рода промежуточную зону, к югу от которой преобладает обратная полярность.

В районе, расположенном в середине южной зоны, преобладают отрицательные значения и слабо положительные, расположенные в свите Лос-Пасос, в западной части свиты Матагуа и самая северная часть интрузивных гранитоидов комплекса Маникарагуа. Этот переход внутри меловой вулканической дуги магнитного поля от преобладания интенсивных

положительных значений к преобладанию отрицательных и промежуточных значений отражает изменение в ССВ-ЮЮЗ с севера на юг в субмеридиональном направлении вулканических последовательностей от основных пород к кислым.



Рис.3.7. Магнитная карта с редукцией к полюсу (по Mondelo et al 2011). Колчеданные: месторождения: 1 – Сан Фернандо; 2 – Индэпэндэнсиа; 3 – Антонио; 4 – Лос-Серрос; рудопроявления: 5 – Эль Соль; 6 – Бока--Торо; месторождения с порфирами: 7 - Макагуа, 8 - Аримао.

В целом, породы свиты Матагуа обладают большой магнитной изменчивостью, которая обычно изменяется от положительных и интенсивных значений на севере и востоке до слабо отрицательных и отрицательных значений на юге и западе. В свите Лос-Пасос преобладают слабо отрицательные значения, хотя есть области с явно отрицательными и положительными значениями.

Месторождение Сан-Фернандо характеризуется максимальными значениями магнитного поля (µ ≈ 178 нТл), что должно быть связано с

минерализованными установленными разломами, обнаруженными в меридиональной структуре гранитов Маникарагуа.

Следует отметить, что положение месторождений Сан-Фернандо, Индэпэндэнсиа и рудопроявления Бока-Торо определяется локализацией на краю единой субширотной дуговой полосы высоких градиентов магнитного поля. Позиция месторождений Антонио, Лос-Серрос и рудопроявления Эль Соль совмещается с северо-западной градиентой зоной магнитного поля. Таким образом, в магнитном поле видны разные геологические блоки, в которых находятся месторождения западного и восточного флангов района Центральной Кубы.

3.2.3 Преобразования аэрогамма-спектрометрии

Спектрометрическая карта гамма поля по большим значениям калия (рис. 3.8) в меловой вулканической дуге Центральной Кубы разделяет интрузии гранитов Маникарагуа и Аримао, содержащих Си-Аи порфировые месторождения, от остальных образований.





Рис.3.8. А-Гамма-спектрометрическая карта канал К (%) (по Mondelo et al 2011). Б-Гистограмма содержания калия Центральной Кубы. Колчеданные: месторождения: 1 – Сан Фернандо; 2 – Индэпэндэнсиа; 3 – Антонио; 4 – Лос-Серрос; рудопроявления: 5 – Эль Соль; 6 – Бока--Торо; месторождения с порфирами: 7- Макагуа, 8- Аримао.

Также по калию наблюдается наиболее четкое разделение колчеданных месторождений Сан Фернандо, Индэпэндэнция, Антонио и Лос-Серрос. Это можно связать с разными структурными проявлениями кварц-серицитовых метасоматитов. Эти факты также подтверждают существенные различия



месторождений западной, центральной и восточной частей района Центральной Кубы.



Рис.3.9. А-Гамма-спектрометрическая карта канал U (ppm) (по Mondelo et al 2011). Б-Гистограмма содержания урана. Центральной Кубы. Колчеданные: месторождения: 1 –Сан Фернандо; 2 – Индэпэндэнсиа; 3 – Антонио; 4 – Лос-Серрос; рудопроявления: 5 – Эль Соль; 6 –Бока--Торо; месторождения с порфирами: 7- Макагуа, 8- Аримао.

Данные по урану и торию (рис. 3.9 и 3.10) мало информативны в отношении наличия той или иной геологической модели. Однако, общим признаком присутствия минерализации Au, Ag, Cu и Zn являются относительно низкие значения U (1.6-1.8 ppm) и Th (0.2-1.4 ppm). По К/Th отношению колчеданные месторождения также отличаются от порфировых Cu-Au месторождений (см. рис 3.8).





Рис. 3.10. А- Гамма-спектрометрическая карта канал Th (ppm) (по Mondelo et al 2011). Б- Гистограмма содержания тория. Центральной Кубы. Колчеданные: месторождения: 1 –Сан Фернандо; 2 – Индэпэндэнсиа; 3 – Антонио; 4 – Лос-Серрос; рудопроявления: 5 – Эль Соль; 6 –Бока--Торо; месторождения с порфирами: 7- Макагуа, 8- Аримао.

Данные аэрогамма-спектрометрии представляют собой более эффективный показатель дифференциации минерализации по всем каналам К, U и T; также информативно отношение K/Th.

Согласно А.М.Портнову [2020], аэрогеофизические исследования показывают высокую эффективность при изучении месторождений полезных ископаемых. На месторождении Сан Фернандо структура ССЗ-ого направления видна на карте калия как линейная положительная аномалия. Она видна и по урану. По торию она отсутствует.

Таким образом, данные аэрогамма-спектрометрии показывают, что колчеданные объекты локализованы в различных геологических структурах. В совокупности с материалами аэромагнитной съемки сведения по ним отражают широтную металлогеническую зональность района Центральной Кубы.

Выводы по главе 3

- Намечена широтная зональность колчеданного и золото-серебряного оруденения рудного района Центральной Кубы, которая установлена по минералого-геохимическим данным. Она выражается в том, что на западном фланге района преобладают медно-колчеданные месторождения с сопутствующими золоторудными объектами, а на востоке распространены медно-цинковые колчеданные месторождения (возможно, более верхнего уровня образования) с баритом и золото-серебряными проявлениями.

- Магнитометрические и радиометрические данные показывают, что рассматриваемые колчеданные месторождения локализованы в блоках разного строения, что не противоречит намеченной широтной металлогенической зональности.

- Данные аэрогамма-спектрометрии являются более эффективным показателем дифференциации минерализации по всем каналам K, U и Th, при этом отношение K / Th также является информативным;

- Аэрогеофизические исследования показывают высокую эффективность изучения месторождений полезных ископаемых. В месторождении Сан-Фернандо структура ССЗ-ой ориентироки видна на карте калия и урана как положительная линейная аномалия.

4. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КУБЫ

Имеют место существенные различия сравниваемых объектов по содержаниям основных и попутных компонентов Cu, Zn, Au и Ag. Для рудопроявлений характерны низкие содержания благородных металлов, составляющие до 1 г/т Ag и Au и бедные руды Cu и Zn. Для месторождений Антонио и Индепенденсиа характерны средние содержания серебра и низкие концентрации Au.

Необходимо отметить заметные колебания Au/Ag для разных объектов (табл. 4.1) [Cazañas 2017, Torres Zafra 2017]. Закономерно, что для Сан-Фернандо и Индэпэндэнсия Au/Ag сопоставимые и относительно высокие, а для Антонио и Лос-Серрос на порядок меньше.

Таблица 4.1

		Основные и попутные	Средние значения содержания				Cu/Zn	A. 11/A. 12
№	Название	компоненты	Cu (%)	Zn (%)	Ад (г/т)	Аи (г/т)	Cu/Zn	Au/Ag
1	Сан Фернандо (50 проб)	Cu, Zn (Pb, Ag, Au)	2,3	3,4	20,0	9,1	0.67	0,46
2	Индэпэндэнсиа (7 проб)	Cu, Zn (Au, Ag)	3,5	7,0	1,7	3,0	0.5	1,76
3	Антонио (33 проб)	Cu, Zn (Au, Ag)	1,64	3,89	18,0	0,3	0.42	0,02
4	Лос-Серрос (7 проб)	Cu, Zn (Au, Ag)	3,0	11,0	45,5	4,17	0.27	0,09

Средние значения содержания компонентов месторождений центральной Кубы [Cazañas 2017, Torres Zafra 2017].

Для сравнения выполнен корреляционный анализ. В таблице 4.2.

приведена корреляционная матрица медь-цинк-свинец-золото-серебро.

Таблица 4.2

Матрица коэффициентов «корреляция элементов колчеданных месторождений центральной Кубы».

Сан Фернандо		Pb	Zn	Си	Ag	Au
50 проб	Pb	1				
1	Zn	0,692016	1			
	Cu	0.428602	0.288814	1	1	
	Ag	0.513944	0.843473	0.267543	1	
	Au	0.421277	0.381409	0.288509	0.249104	1
Индэпэндэнсия		Pb	Zn	Си	Ag	Au
7 проб	Pb	1				
	Zn	0,039778	1			
	Cu	0,11675	0,974667	1		
	Ag	-0,38375	0,678194	0,544542	1	
	Au	-0,47998	0,624498	0,508094	0,982581	1
Антонио		Pb	Zn	Си	Ag	Au
33 проб	Pb	1				
	Zn	0,713083	1			
	Cu	0,869041	0,826591	1		
	Ag	0,525783	0,822877	0,689824	1	
	Au	0,398569	0,837602	0,66223	0,870212	1
Лос-Серрос		Pb	Zn	Си	Ag	Au
7 проб	Pb	1				
	Zn	0,919979	1			
	Cu	0,573926	0,783371	1		
	Ag	0,345228	0,03119	-0,01402	1	
	Au	0,843107	0,605421	0,327217	0,772606	1

На рис 4.1 показаны соотношения свинца и цинка, а также меди и цинка в рудах разных колчеданных месторождений Центральной Кубы.





Рис. 4.1 Соотношение содержаний свинца и цинка (а) и меди и цинка (б) в колчеданных рудах месторождений Центральной Кубы.

Несмотря на небольшое число анализов по объектам Индэпэндэнсия и Лос-Серрос, можно отметить некоторые геохимические закономерности. На месторождениях Сан-Фернандо, Антонио и Лос-Серрос установлена высокая положительная корреляция Pb и Zn (Кк 0,7), а для Сан Фернандо, Индэпэндэнсия и Антонио также высокая положительная связь Zn и Ag (Кк 0,7). Руды Индэпэндэнсия отличаются практически отсутствием и даже обратными связями Zn и Pb с Au. Для других объектов имеется положительная связь Zn с Au.

Приведенные геохимические отличия подтверждают наличие широтной металлогенической зональности колчеданных месторождений в Центральной Кубе.

5. ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕНЕЗИСЕ Аи-Ад МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Относительно высокие Au/Ag отношения и отсутствие корреляции Au с Zn на месторождениях Caн-Фернандо и Антонио возможно указывают на перераспределение и концентрацию благородных металлов после формирования колчеданных руд. В какой-то мере Au-Ag минерализация напоминает месторождения Венесуэлы, что также было подмечено в ряде работ [Акимов, 2018, Константинов и др., 2000, Некрасов, 1988, Некрасов и др., 2015 и др.].

В целом распределение свинца, цинка, меди, золота, серебра в районе Центральной Кубы отражает широтную металлогеническую зональность. С запада на восток имеет место замещение цинково-медных колчеданных месторождений медно-свинцово-цинковыми. Присутствие большего количества барита на востоке, существенно разные Au/Ag отношения в рудах Сан-Фернандо и Индэпэндэнсия (западная и центральная части района) и Антонио и Лос–Серрос (восточный фланг) могут указывать на разный эрозионный срез блоков района.

Отсутствие связей благородных металлов и халькофильных металлов в Сан-Фернандо, Антонио и Лос-Серрос, приуроченность золотой минерализации к тектоническим зонам в Сан-Фернандо, присутствие на этом объекте штокверковых медно-рудных тел, явно указывают на проявление самостоятельных золоторудных объектов. Следовательно, в районе можно предполагать наличие скрытого благороднометального оруденения.

По представлению диссертанта, гидротермальнометаморфогенное извлечение металлов и перекристаллизация сульфидов могли привести к ремобилизации и локальному перераспределению микроэлементов и последующей кристаллизации дисперсных фаз минералов (галенит, арсенопирит, гессит тетраэдрит, И электрум), тогда как

соотношения Cu + Zn + Pb / Au / Ag и Cu / Pb / Zn в основном свидетельствуют о рассеянности элементов (рис. 5.1).





Рис. 5.1 а) Тройная диаграмма относительного содержания Au, Ag и основного метала (Cu+Zn+Pb%) для месторождений Caн Фернандо и Антонио (Poulsen & Hannington, 1995); б) Тройная диаграмма относительного содержания Cu, Zn и Pb в месторождениях Caн Фернандо и Антонио (Large, 1992).

Наблюдается тенденция к увеличению концентраций Ag и Cu-Zn на месторождении Сан-Фернандо по сравнению с Антонио. Мобилизованные Zn и Pb, вероятно, мигрировали вверх и снова осаждались в виде сфалерита и галенита в более холодных частях массивной сульфидной линзы, вызывая распределение халькопирита И сфалерита-галенита зональное И, (± Zn Pb). Существование следовательно, распределение Cu И дифференцированного (промежуточного фельзитового) или ряда вулканических пород с островодужным сродством способствует такому поведению.

Золото, которое должно было выпасть в твердую дисперсную фазу на заключительной стадии, свидетельствует о его ремобилизации и повторном осаждении в виде электрума.

Для сравнения на рисунке 5.2 показаны данные по соотношениям халькофильных и благородных металлов на колчеданных месторождениях Норвегии, Японии Канады, И Португалии. В Австралии, случае месторождения Антонио тенденция к образованию месторождений типа Zn-Си, как бы повторяется для Сан-Фернандо, в частности, на обоих рудообразование протекает аналогично австралийским, канадским, норвежским и японским месторождениям Zn-Cu.



Рис. 5.2. Проекция коэффициентов Си и Zn в месторождениях Австралии, Канады, Норвегии, Японии и Португалии в треугольной диаграмме Large 1992 г. (по Gaspar 1996).

Выводы по главе 5

На основании ряда фактов, в частности: особенностей прожилковых руд золота; приуроченности их к тектоническим зонам; отсутствия корреляции между благородными и халькофильными металлами на месторождении Сан Фернандо; существенно разных золото-серебряных отношений в рассмотренных рудных объектах, можно предположить, что часть золото-серебряных руд формировалась после колчеданных. Это отмечено для Au-Ag руд типа high sulfidation в сходных рудных районах Венесуэлы, Курильской островной дуги и других районах [Акимов, 2018, Константинов и др., 2000, Некрасов, 1988]. В этой связи можно ожидать обнаружения скрытых месторождений золота на западе и золото-серебряных на востоке исследованного района.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы представленной диссертации позволяют сделать следующие выводы:

- На месторождении Сан-Фернандо пиритовые, цинково-медные и медные руды имеют сходный минеральный состав и строение, но отличаются по количественному соотношению рудных минералов и элементов.

- В сульфидах этого объекта установлены микроскопические выделения электрума и теллуридов золота. В этой связи предполагается золотоносность древних многолетних рудных отвалов.

- На месторождении Сан-Фернандо установлена нетипичная для колчеданных объектов вертикальная минералого-геохимическая зональность, выражающаяся в преимущественном распространении в подошве рудных залежей пиритовых руд, выше сменяющихся медными и кровлей цинковомедных руд.

- На месторождении выделены две субмеридиональные рудоносные зоны, в основном сложенные пологозалегающими рудными линзами трех уровней.

- Прожилково-вкрапленные сульфидные руды месторождении Сан Фернандо приурочены к круто падающим ССЗ-ым тектоническим зонам, которые могут содержать золотую минерализацию. Это подтверждается, как отсутствием корреляции между благородными и халькофильными металлами, так и относительным расхождением в плане концентраций благородных и халькофильных металлов.

- Намечена широтная зональность колчеданного и золотосеребряного оруденения в пределах рудного района Центральной Кубы. На западе его преобладают медно-колчеданные месторождения с

сопутствующими золоторудными объектами. На востоке распространены медно-цинковые колчеданные месторождения с баритом И золотосеребряными проявлениями. Приуроченность месторождений к разным геологическим блокам И ИХ отличия подтверждаются данными магнитометрии и аэрогамма-спектрометрии.

- Проявление островодужного дифференцированного вулканизма и геотектонических условий транспресии способствовали ремобилизации золота, которое повторно скапливалось в виде электрума. Часть золотосеребряных руд могла формироваться после колчеданных.

- Для колчеданных месторождений Центральной Кубы можно предполагать аналогию с Au-Ag рудами типа high sulfidation в сходных рудных районах Венесуэлы, Курильской островной дуги и других золотоносных провинциях.

- В результате можно ожидать обнаружения скрытых месторождений золота на западном и золото-серебряных на восточном флангах исследованного района.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Г.Ю. Метасоматические кварциты золоторудных полей и их рудоносность // Геологический вестник. Электронный журнал компании «Полиметалл». 2018. № 4 (декабрь). С.30-36.

2. Баранов В. Потенциальные поля и их трансформации в прикладной геофизике М: Недра. 1980. 151 с.

3. Блох Ю. И. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. 2009. 232 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <u>http://sigma3d.com/pdf/books/blokh-interp.pdf</u>

Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Солодов Н.А.
Месторождения благородных, радиоактивных и редких металлов. М.
НИА - Природа. 1999. 220 с.

5. Большая Российская энциклопедия 16// Москва Научное издательство Большая Российская энциклопедия. 2010 г. стр. 197-219.

6. Бондаренко В.М., Демура Г.В., Савенко Е.И. Общий курс разведочной геофизики. М. "Norma@. 1998. 304 с.

Голенев В.Б. Геолого-методические основы разведки месторождений в глинистых корах выветривания. М. ЦНИГРИ. 2006.
276 с.

8. Горбунова Л. М., Захаров В. П., Музылев В. С., Онин Н. М. Под ред. Захарова В. П. Геофизические методы поисков и разведки. Л.: Недра, 1982. 304 с.

9. Де Ла Нуэс Колон. Д., Оникиенко. Л.Д. Особенности геологического строения и природные типы руд региона Центральная Куба // Тезисы докладов. 13-ой Международной научно-практическая конференция «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ)» Том I. М., 2018. С. 288-289.

10. Де Ла Нуэс Колон. Д., Оникиенко. Л. Д. Минералогия, текстурно-структурные особенности колчеданных руд месторождения Сан-Фернандо региона Центральная Куба. XIV Международной научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Том II. М., 2019. С. 67-69.

11. Де Ла Нуэс Колон. Д. Вертикальная минеральная зональность колчеданного месторождения Сан Фернандо Куба. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020;63(1):30—38. <u>https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-30-38</u>.

12. Де Ла Нуэс Колон. Д., Игнатов П.А. Вероятные золоторудные зоны колчеданного месторождения Сан-Фернандо (Куба)// Разведка и охрана недр. ISSN: 0034-026Х.-2020. №10. -С. 8-14.

13. Де ла Нуэс Колон Д. Санта Крус Пачэко М. Широтная зональность колчеданных месторождений района Лос-Пасос. Центральной Кубы. IX Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле» (г. Москва, МГРИ). Том II. М., 2020. С. 56-57.

14. Де Ла Нуэс Колон Д. О перспективах рудных отвалов на месторождении Сан-Фернандо. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. «Породо- минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований». Научное электронное издание. (г. Москва). 2020 С. 102-104.

15. Де Ла Нуэс Колон Д., Санта Крус Пачэко М. Золоторудные и золотосодержащие пластово-колчеданные месторождения Центральной Кубы. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. Т.63. №3. С. 27—37. <u>https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-3-27-37.</u>

16. Демура Г.В., Петров А.В. Физико-геологическое моделирование анизотропная магнитная геотомография недр // Геофизика. 2014. № 6. С. 18-24.

17. Дергачев А. Л. Эволюция вулканогенного колчеданообразования в истории Земли//Автореф. дис. докт. геол.-мин. наук Москва, 2010. 58 с.

18. Физическая Карта Кубы [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<u>https://yandex.ru/maps/?l=sat%2Cskl&ll=-</u>

73.699863%2C21.149361&z=6

19. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. М. Научный мир. 2000. 272 с.

20. Кругосвет. Материал из Википедии — свободной энциклопедии (Реки и озёра) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <u>https://ru.wikipedia.org/wiki/ Кругосвет</u>

21. Лаверов Н. П., Бугельский Ю.Ю., Васкес О., Григорьев И.И., и др. Рудные месторождения Кубы. М.: Наука, 1985. 245 с.

22. Нарсеев В.А., Курбанов Н.К., Константинов М.М. и др. Прогнозирование и поиски месторождений золота. М. ЦНИГРИ. 1989, 237 с.

23. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М. Недра. 1988. 286 с.

24. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. М. "Астрея-центр". 2015. 191 с.

25. Портнов А. М. Радиогеохимическая специализация по калию и торию-индикатор при аэрогеофизических поисках месторождений// Горный журнал. 2020. № 3(2272) ISSN 0017-2278. С 9-12.

26. Пушаровский Ю. М. (ред.). Геологическая карта Кубы// Масштаб 1: 250 000// Кубинская академия наук и Академия Наук СССР. 1988.

27. Смирнов В. И., Колчеданные месторождения мира. М., Недра, 1979. 284 с.

28. Сомин М.Л., Мильян Г. Геология метаморфических комплексов Кубы. М.: Наука, 1981. 219 с.

29. Старостин В. И., Игнатов П. А. Геология полезных ископаемых. Учебник для высшей школы. - М.: Академический Проект, 2004.-512 с. ISBN 5-8291-0656-6

30. Яхонтова Л.К., Грудев А.П. Зона гипергенеза рудных месторождений. М. Изд-во. Моск. ун-та. 1978. 229 с.

31. Blein, O., et al., 2003. Geochemistry of the Mabujina Complex, Central Cuba: implications on the Cuban Cretaceous arc rocks// Journal of Geology// Vol. 111, p. 89-101.

32. Cazañas, X., Torres Zafra J. L., et al// Metallogeny of Cuba. Explanatory memory of the metallogenic map at scale 1: 250,000// Institute of Geology and Paleontology// Havana, Cuba. 2017. ISBN 978-959-7117-77-3. 177 p.

33. De la Nuez Colon D., Santa Cruz Pacheco, M., Aguirre Guillot G., Toledo, C., et al//Atlas of metallic ores of Cuba// Institute of Geology and Paleontology// Havana, Cuba. 2015 ISBN 978-959-7117-64-3. p. 20-22.

34. Delgado, S. et al. Copper preliminary review report, Antonio -Independencia. National Mineral Resources Office (ONRM). Cuba. 1991.81p.

35. Diaz de Villalvilla et al. The study of the Cretaceous magmatic sequences of Central Cuba and its relationship with the gold mineralization (Cu, Zn, Pb, Au and Ag). 1997. pp. 4-12.

36. Draper, G., Jackson, T., Donovan, S. Geologic Provinces of The Caribbean region// Caribbean geology. An Introduction. 1994. pp. 1-11.

37. Escuder- Viruete. J., Pérez-Estaún. A., Contreras F., Joubert M., Weis, D. Plume mantle source heterogeneity through time: Insights from the Duarte Complex, Hispaniola, northeastern Caribbean. Journal of Geophysical Research: 2007. Solid Earth 112 (B4)

38. Escuder- Viruete. J. Pérez-Estaún. A., Weis, D. Geochemical constraints on the origin of the late Jurassic proto-Caribbean oceanic crust in Hispaniola. 2009. Weis International Journal of Earth Sciences 98 (2), 407-425.

39. Gallardo Eupierre, E., Rodriguez G. I. et al. Geological generalization and metallogenic forecast is the Los Pocos retinue. Final report. 2002 Unpublished. p. 21.

40. Gaspar, O.C. Microscopy and petrology of ores applied to the genese, exploration and mineralurgy of the massive sulphides of the reservoir and Neves-Corvo deposits. Studies, Notes and Works 38 p 3-195. 1996.

41. IGP. Tectonic map of the study area. Report of the Institute of Geology and Paleontology, 2014. p. 27. (In Cuba, unpublished).

42. Irvine, T. N., W. A. Baragar. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8; 1971. p 523-548.

43. Iturralde Vinent. Late Paleocene to early middle Eocene Cuban island arc. in Ali, W., A. Paul and V. Young On, (Eds.)// Transactions of the 3rd Geological Conference of the Geological Society of Trinidad and Tobago and the 14th Caribbean Geological Conference. 1998. Vol. 2. pp. 343-362.

44. Iturralde-Vinent. Scientific Report of Field Workshop to the "Nicoya Complex" in Costa Rica. IGCP Project 433// Caribbean Plate Tectonics. 2009.

45. Iturralde-Vinent. (editor). Compendium of Geology of Cuba and the Caribbean// Second edition. DVD-ROM. Editorial CITMATEL, Havana, Cuba. 2012.

46. Jakes, P., Gill, J. Rare earth elements and the island arc tholeiitic series. Earth and planetary science letters. 1970.

47. Large R. R., 1992. Australian volcanic - hosted masive sulfide deposits: features, styles, and genetic models. Economic Geology 87 (3) p 471-510; 1992.

48. Le Maitre, R.W. (editor), Bateman, B., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, M., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. & Zanettin, B., 1989. A Classification of Igneous Rocks and a Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford. p.193. [Hyalo-].

49. Lewis, J.F., & Draper, G. Geological and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. En: Decade of North American Geology. H. The Caribbean. Geological Society of America, Boulder, Colorado, 1990. p 77-140.

50. Lewis, J.F., Escuder-Viruete, J., Hernaiz-Huerta, P.P., Gutiérrez, G., Draper, G., & Pérez-Estaún, A. Subdivisión geoquímica del arco de Isla Circum-Caribeño, Cordillera Central Dominicana: Implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico. 2002. Acta Geologica Hispanica, 37, p 81-122.

51. Lyndon, J. W. 1984. Volcanogenic massive sulphide deposits. - En: Roberts, R. G., ed. Ore deposits model / R. G. Roberts, P. A. Sheahan, ed. -Canada: Geoscience Canada, 1984.

52. Meschede, M. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zi-Y diagram. Chemical Geology, 1986. V. 56, p 207-218.

53. Mondelo, M., and Sánchez, C. Regional geophysical maps of gravimetry, magnetometry, intensity and gamma spectrometry of the Republic of Cuba, scales 1: 2,000,000 to 1:50,000. 2011. 284 p. (In Cuba, unpublished).

54. Pearce, J. A. A user's Guide to basalt discrimination diagrams, in Wyman, D. A., ed. Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks Applications for Massive Sulphide Exploration: Geological Association of Canada. 1996. Short course notes, V. 12. P 79-113.

55. Pearce, J. A and Peate, D. W. Tectonic implications of composition of volcanic arc magma. Annual review of Earth. Planetary Science. 1995. V. 23. P 251-285.

56. Pearce, J. A. Geochemical Fingerprinting of the Earth's Oldest Rocks. Geology 2014;42;175-176. doi: 10.1130/focus022014.1. Downloaded from geology.gsapubs.org on May 5, 2014.

57. Peccerillo, A., S. Taylor. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rock from the Kastamonu area northern Turkey// Contribution to Mineralogy and Petrology 58. 1976.

58. Poulsen, H., and Hannington, M. Auriferous Volcanogenic Sulfide Deposits, in Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D. and Thorpe, R.I., eds. Geology of Canadian Mineral Deposit Types, Geology of Canada, no. 8, Decade of North American Geology (DNAG), Geological Society of America, P-1. 1995p. 183-196.
59. Ramos, L.N., Pires, A.C., and Toledo, C. (2014). Airborne gamma-ray spectrometric and magnetic signatures of fazenda nova region, east portion of arenópolis magmatic arc, Goiás. Revista Brasileira de Geofísica, 32(1), 123-140. doi:10.22564/rbgf.v32i1.401.

60. Shervais, W. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. Earth and Planetary Sience Letters, Vol. 59. 1982. p 101-118.

61. Stolz, A. J.; Jochum, K. P.; Spettel, B.; Hofmann, A. W. Fluidand melt-related enrichment in the subarc mantle: Evidence from Nb/Ta variations in island-arc basalts. Geology, vol. 24, Issue 7, p.587. DOI: 10.1130/0091-7613(1996)024<0587:FAMREI>2.3.CO;2

62. Thurston P. C. Volcanic cyclicity in mineral exploration; the caldera cycle and zoned chambers. Volcanology and Mineral Deposits 1986. (Geological Survey, Miscellaneous Paper; 129) 1986. p. 104-123.

63. Torres Zafra, J. l. Lavaut, W., Cazañas Díaz, X. Descriptive-Genetic Models of Metallic Mineral Deposits for the 1: 250 000 Scale Metallogenic Map of the Republic of Cuba. Institute of Geology and Paleontology// Havana, Cuba. 2017. ISBN 978-959-7117-74-2. 267 p.

64. Vázquez, B., Prieto, R., and Millán, G. Geological survey 1:50 000 and search North Las Villas III. Final report. 1993. 705 p (In Cuba, unpublished).

65. Zelepuguin, V. N., Díaz de Villalvilla, L., et al., 1986. Petrology of volcanic and vulcanic-sedimentary rocks of Cuba. CIG. ONRM.

109